

Beschreibung**REFRAKTIVES PROJEKTIONSOBJEKTIV FÜR DIE
IMMERSIONS-LITHOGRAPHIE**

Die Erfindung bezieht sich auf ein refraktives Projektionsobjektiv zur Abbildung eines in einer Objektebene des Projektionsobjektivs angeordneten Musters in eine Bildebene des Projektionsobjektivs mit Hilfe eines Immersionsmediums, welches zwischen einem letzten optischen Element des Projektionsobjektivs und der Bildebene angeordnet ist.

Photolithographische Projektionsobjektive werden seit mehreren Jahrzehnten zur Herstellung von Halbleiterbauelementen und anderen fein strukturierten Bauteilen verwendet. Sie dienen dazu, Muster von Photomasken oder Strichplatten, die nachfolgend auch als Masken oder Retikel bezeichnet werden, auf einen mit einer lichtempfindlichen Schicht beschichteten Gegenstand mit höchster Auflösung in verkleinerndem Maßstab zu projizieren.

Zur Erzeugung immer feiner Strukturen in der Größenordnung von 100nm oder darunter tragen vor allem drei parallel verlaufende Entwicklungen bei. Erstens wird versucht, die bildseitige numerische Apertur (NA) der Projektionsobjektive über die derzeit üblichen Werte hinaus in den Bereich von $NA=0,8$ oder darüber zu vergrößern. Zweitens werden immer kürzere Wellenlängen von Ultraviolettlicht verwendet, vorzugsweise Wellenlängen von weniger als 260nm, beispielsweise 248nm, 193nm, 157nm oder darunter. Schließlich werden noch andere Maßnahmen zur Auflösungsvergrößerung genutzt, beispielsweise phasenschiebende Masken und/oder schräge Beleuchtung.

Es gibt auch schon Ansätze, die erzielbare Auflösung dadurch zu verbessern, dass in den Raum zwischen dem letzten optischen Element des Projektionsobjektives und dem Substrat ein Immersionsmedium mit hohem Brechungsindex eingebracht wird. Diese Technik wird hier als Immersions-Lithographie bezeichnet. Die hierfür geeigneten Projektionsobjektive werden als Immersionsobjektive oder Immersionssysteme bezeichnet. Durch Einbringung des Immersionsmediums ergibt sich eine effektive Wellenlänge $\lambda_{\text{eff}} = \lambda_0/n$, wobei λ_0 die Vakuum-Arbeitswellenlänge und n der Brechungsindex des Immersionsmediums ist. Daraus ergeben sich eine Auflösung $R = k_1 (\lambda_{\text{eff}}/NA_0)$ und eine Schärfentiefe (depth of focus, DOF) $DOF = \pm k_2 (\lambda_{\text{eff}}/NA_0^2)$, wobei $NA_0 = \sin \Theta_0$, die „trockene“ numerische Apertur und Θ_0 der halbe Öffnungswinkel des Objektives ist. Die empirischen Konstanten k_1 und k_2 sind prozessabhängig.

Die theoretischen Vorteile der Immersions-Lithographie liegen in der Verringerung der effektiven Arbeitswellenlänge und der damit verbesserten Auflösung. Dies kann bei unveränderter Vakuum-Wellenlänge erreicht werden, so dass für die entsprechende Wellenlänge etablierte Techniken zur Lichterzeugung, zur Wahl von optischen Materialien, zur Beschichtungstechnik etc. weitgehend unverändert übernommen werden können. Allerdings sind Maßnahmen zur Bereitstellung von Projektionsobjektiven mit höchsten numerischen Aperturen im Bereich von $NA = 1$ oder darüber erforderlich. Weiterhin müssen geeignete Immersionsmedien verfügbar sein.

Für 193 nm zeichnet sich Reinstwasser mit $n_1 \approx 1,43$ als geeignetes Immersionsmedium ab.

In dem Artikel „Immersion Lithography at 157nm“ von M. Switkes und M. Rothschild, J. Vac. Sci. Technol. B 19(6), Nov./Dec. 2001, Seiten 1ff werden Immersionsflüssigkeiten auf Basis von Perfluoropolyethern

(PFPE) vorgestellt, welche für 157nm Arbeitswellenlänge ausreichend transparent und mit einigen derzeit in der Mikrolithographie verwendeten Photoresist-Materialien kompatibel sind. Eine getestete Immersionsflüssigkeit hat bei 157 nm einen Brechungsindex $n_1 = 1,37$. In der Veröffentlichung ist auch ein mit Kalziumfluorid-Elementen und Silizium-Spiegeln arbeitendes, linsenfreies, optisches System zur Immersions-Interferenz-Lithographie dargestellt, welches bei einer numerischen Apertur von $NA = 0,86$ die Abbildung von 60nm-Stukturen und darunter ermöglichen soll. Das optische System dürfte für den Einsatz in der Serienproduktion von Halbleitern oder dergleichen nicht geeignet sein.

Die Patentschriften US 4, 480, 910 und US 5,610,683 (entsprechend EP 0 605 103) beschreiben für die Immersions-Lithographie vorgesehene Projektionsbelichtungsanlagen mit Einrichtungen zur Einbringung von Immersionsfluid zwischen dem Projektionsobjektiv und dem Substrat. Es sind keine Designs für die Projektionsoptik angegeben.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein für die Immersions-Lithographie geeignetes, refraktives Projektionsobjektiv zu schaffen, welches eine kompakte Baugröße hat und mit vertretbarem Materialeinsatz hergestellt werden kann.

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Projektionsobjektiv mit den Merkmalen von Anspruch 1. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben. Der Wortlaut sämtlicher Ansprüche wird durch Bezugnahme zum Inhalt der Beschreibung gemacht.

Gemäß einem Aspekt der Erfindung hat ein refraktives Projektionsobjektiv zur Abbildung eines in einer Objektebene des Projektionsobjektivs angeordneten Musters in die Bildebene des Projektionsobjektivs mit Hilfe eines Immersionsmediums, das zwischen einem letzten optischen Element des Projektionsobjektivs und der Bildebene angeordnet ist,

eine auf die Bildebene folgende erste Linsengruppe mit negativer Brechkraft;
eine darauf folgende zweite Linsengruppe mit positiver Brechkraft;
eine darauf folgende dritte Linsengruppe mit negativer Brechkraft;
eine darauf folgende vierte Linsengruppe mit positiver Brechkraft;
eine darauf folgende fünfte Linsengruppe mit positiver Brechkraft; und
eine Systemblende, die in einem Übergangsbereich von der vierten Linsengruppe zur fünften Linsengruppe angeordnet ist,
wobei die vierte Linsengruppe eine Eintrittsfläche hat, die in der Nähe eines Wendepunktes einer Randstrahlhöhe zwischen der dritten Linsengruppe und der vierten Linsengruppe liegt und zwischen der Eintrittsfläche und der Systemblende keine Negativlinse mit substantieller Brechkraft angeordnet ist.

Eine „Negativlinse mit substantieller Brechkraft“ im Sinne der Erfindung ist eine Linse mit einer für das optische Design erheblichen zerstreuen- den Wirkung. Insbesondere sind hiermit Negativlinsen mit einer Brechkraft ϕ umfasst, für die: $|\phi| > 0,12 \text{ m}^{-1}$ (dpt, Dioptrien) gilt.

Eine Randstrahlhöhe ist der senkrechte Abstand eines Randstrahles zur optischen Achse, wobei ein Randstrahl von der Mitte des Objektfeldes zum Blendenrand der die genutzte numerische Apertur bestimmenden Systemblende führt.

Vorzugsweise ist zwischen der Eintrittsfläche der vierten Linsengruppe und der Systemblende überhaupt keine Negativlinse vorgesehen, so dass in diesem Bereich nur Positivlinsen sitzen, die einer zu starken Vergrößerung des Strahlbündeldurchmessers im divergenten Strahlengang hinter der Eintrittsfläche entgegenwirken.

Wird gemäß diesem Aspekt der Erfindung im Bereich relativ großer Strahlbündeldurchmesser auf Negativlinsen mit nennenswerter Brech-

kraft verzichtet, so können dadurch die maximalen Durchmesser der Linsen in diesem Bereich auf praktikable Maße begrenzt werden. „Relativ hohe Strahldurchmesser“ im Sinne dieser Anmeldung liegen insbesondere dann vor, wenn die Randstrahlhöhe an einer Linse mindestens so gross ist wie die Hälfte der Randstrahlhöhe an der Systemblende. Die Erfindung berücksichtigt, dass die zerstreuerde Wirkung einer Negativlinse zwar aus korrekationstechnischen Gründen gewünscht sein kann, dass jedoch jede zerstreuerde Wirkung hinter der Negativlinse zu tendenziell größeren Linsendurchmessern führt, als sie in Abwesenheit einer Negativlinse nötig wären. Zudem müssen die Strahlen des Strahlbündels in Richtung der nachfolgenden Bildebene zusammengeführt werden, wozu positive Brechkraft erforderlich ist. Die hierfür erforderlichen Positivlinsen können insgesamt moderater ausgelegt sein, wenn bei der Strahlzusammenführung nicht auch noch die zerstreuerde Wirkung von Negativlinsen kompensiert werden muss. Zudem kann die Anzahl der Linsen begrenzt werden. Die Erfindung ermöglicht somit kompakte Projektionsobjektive mit minimaler Linsenmasse.

Bei manchen Ausführungsformen ist zwischen der Systemblende und der Bildebene keine Negativlinse angeordnet. Daher kann dieser Bereich ausschließlich mit Positivlinsen aufgebaut sein, die gegebenenfalls durch eine annähernd oder vollständig planparallele Platte ergänzt sein können.

Die erfindungsgemäße Brechkraftverteilung auf die einzelnen Linsengruppen ergibt ein Projektionsobjektiv mit zwei Bäuchen und einer dazwischen liegenden Taille, wodurch eine gute Korrektur der Bildfeldwölbung erreicht wird. Dabei ist bei bevorzugten Ausführungsformen vorgesehen, die Anzahl der für die optische Korrektur notwendigen Wechsel zwischen Linsen negativer und positiver Brechkraft auf ein Minimum zu begrenzen. Bei einer Ausführungsform existiert im Bereich der dritten Linsengruppe ein Einschnürungsort mit minimalem Strahldurchmesser.

Zwischen diesem Einschnürungsort und der Bildebene gibt es nur an einer Stelle ein Linsenpaar mit unmittelbar aufeinander folgenden Linsen mit $\phi_i \cdot \phi_{i+1} < 0$, wobei ϕ_i und ϕ_{i+1} die Brechkräfte der Linsen des Linsenpaares sind und $|\phi_i| > 0,12 \text{ m}^{-1}$ ist. Günstig ist es, wenn zwischen der Objektebene und der Bildebene nur an drei Stellen Linsenpaare mit einem derartigen Wechsel zwischen positiver und substantiell negativer Brechkraft (bzw. umgekehrt) vorkommen. Dadurch kann ein massearmer Aufbau solcher Projektionsobjektive gefördert werden.

Die Korrektion chromatischer Bildfehler ohne Verwendung eines zweiten Materiales führt bekanntlich zur Forderung zusätzlicher geometrischer Bedingungen, die die Strahlbündel in den verschiedenen Objektivteilen erfüllen müssen. Um diesen Zusatzbedingungen zu entgehen, kann ein zweites optisches Material verwendet werden. Jedoch sind in dem Wellenlängenbereich des tiefen Ultraviolettlichtes (DUV), die den bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung vorgesehen sind, nur wenige transparente optische Materialien mit ausreichend geringer Absorption verfügbar. Für Anwendungen bei 193 nm werden hauptsächlich synthetisches Quarzglas (SiO_2) als Hauptmaterial und als zweite Materialsorte Fluoridkristallmaterialien, wie Kalziumfluorid (CaF_2) oder Bariumfluorid (BaF_2), verwendet. Bei 157 nm wird in der Regel Kalziumfluorid als Hauptmaterial und Bariumfluorid als zweites Material genutzt. Der gezielte Einsatz von Kalziumfluorid bei 193 nm kann auch zur Sicherung einer längeren Lebensdauer des Objektivs beitragen, da in Kalziumfluorid die bei synthetischem Quarzglas beobachteten Dichteänderungen bei großen Strahlungsdichten nicht auftreten. Die zusätzlich zu synthetischem Quarzglas verwendbaren Fluoridkristallmaterialien haben jedoch erhebliche Nachteile. Einerseits sind sie nur begrenzt verfügbar, so dass die Beschaffungskosten hoch sind. Zudem erschweren einige physikalische und chemische Eigenschaften die Optikfertigung. Daher werden bei manchen Ausführungsformen asphärische Flächen zur Unterstützung der Bildkorrektion verwendet.

Bei einer Ausführungsform enthält die erste Linsengruppe mindestens eine asphärische Fläche, wobei vorzugsweise in der ersten Linsengruppe mindestens zwei asphärische Flächen vorgesehen sind. Eine feldnahe Anordnung von Asphären in einem Bereich, in dem die Hauptstrahlhöhe deutlich größer ist als die Randstrahlhöhe, kann für eine wirksame Verzeichnungskorrektur genutzt werden. Vorzugsweise enthält die erste Linsengruppe mindestens zwei Linsen mit jeweils einer asphärischen Fläche. Die Verteilung von Asphären auf mehrere Linsen vereinfacht die Herstellung, da große Flächendeformationen vermieden werden können.

Es hat sich als günstig herausgestellt, wenn in einem feldnahen ersten Linsenbereich, in dem die Hauptstrahlhöhe gross gegen die Randstrahlhöhe ist, mindestens eine asphärische Fläche angeordnet ist, die eine Krümmung hat, welche in einem optisch nutzbaren Bereich maximal einen Wendepunkt hat. Beispielsweise können zwei solcher Flächen vorgesehen sein. Mehr als drei Flächen mit einem oder mehreren Wendepunkten sollten vermieden werden. Asphärische Flächen, die im optisch nutzbaren Bereich keinen oder höchstens einen Wendepunkt der Krümmung aufweisen, sind fertigungstechnisch gut beherrschbar und insbesondere mit geringen Oberflächenrauigkeiten herstellbar.

Vorzugsweise sollte im ersten Linsenbereich mindestens eine asphärische Fläche vorkommen. Weiterhin ist es vorteilhaft, wenn alle Asphären des ersten Linsenbereiches die Bedingung $|\Sigma C_{1i}| \cdot 10^8 > 0,22$ erfüllen, wobei C_{1i} der Koeffizient des Gliedes h^4 der asphärischen Flächen Darstellung der i-ten Fläche ist. Damit repräsentiert der Parameter C_{1i} die Hauptkomponente für Deformationen von Asphären.

Bei manchen Ausführungsformen ist vorgesehen, dass asphärische Flächen mit einem optisch nutzbaren Durchmesser von mehr als 20% der Baulänge (Abstand Objektebene – Bildebene) des Projektionsobjektives

konkav sind. Dies gilt bei manchen Ausführungsformen für alle asphärischen Flächen. Wird diese Bedingung eingehalten, so ist eine Prüfung der Asphäre mit hinreichender Genauigkeit bei vertretbarem Aufwand möglich.

Im Hinblick auf die Verzeichnungskorrektur hat es sich als günstig herausgestellt, wenn in einem zweiten Linsenbereich, der sich zwischen der Objektebene und einem Bereich erstreckt, in dem die Hauptstrahlhöhe im wesentlichen der Randstrahlhöhe entspricht, mindestens zwei asphärische Fläche angeordnet sind, deren asphärische Beiträge zur Verzeichnung entgegengesetzte Vorzeichen haben. Dieser Beitrag kann ermittelt werden gemäß $(8 \cdot C1 + k \cdot c^3)(n - n') \cdot y \cdot y_p^3$, wobei $C1$ der Asphärenkoeffizient, k die konisch Konstante der Asphäre, c die Krümmung, n und n' die Brechungsindizes vor und nach der Fläche, y die paraxiale Randstrahlhöhe an der Fläche und y_p die paraxiale Hauptstrahlhöhe an der Fläche ist.

Bei manchen Ausführungsformen kann eine vorteilhafte Entkoppelung von optischen Mitteln zur Bereitstellung objektseitiger Telezentrie und zur Korrektur von Verzeichnungen dadurch erreicht werden, dass für die sphärische Pupillenabberation PSA die Bedingung $0,9 \cdot PSA_{31} < PSA_3 < 1,1 \cdot PSA_{31}$ erfüllt ist. Hierbei ist PSA_{31} die Summe der Flächenteilkoeffizienten der sphärischen Pupillenabberation aller Flächen innerhalb des ersten Linsenbereiches, während PSA_3 die Summe der Flächenteilkoeffizienten der sphärischen Pupillenabberation aller Flächen des Systems ist. Bei Einhaltung dieser Bedingung kann erreicht werden, dass die Pupillenabberationen hauptsächlich im ersten Linsenbereich nahe der Objektebene konzentriert sind. Dies ist günstig für die Entkopplung zwischen Telezentrie- und Verzeichnungsbeeinflussung.

Günstige Ausführungsformen erfindungsgemäßer Projektionsobjektive haben einen Objekt-Bildabstand L , eine Brennweite f und nutzen ein

Immersionsmedium mit einer Brechzahl n_i , wobei folgende Bedingung erfüllt ist: $L / f \cdot n_i > 2,5$. Bei Einhaltung dieser Bedingung sind kompakte Systeme mit kleinen Brennweiten möglich.

Die Systemblende kann eine ebene Systemblende sein, bei der der Blendenrand unabhängig vom eingestellten Blendendurchmesser in einer senkrecht zur optischen Achse stehenden Ebene verbleibt. Bei Systemen mit Blendenfehler kann es günstig sein, wenn die Systemblende einen den Blendendurchmesser bestimmenden Blendenrand hat, dessen axiale Position in Bezug auf die optische Achse des Projektionsobjektivs als Funktion des Blendendurchmessers veränderbar ist. Dies erlaubt eine optimale Anpassung der wirksamen Blendenposition an den Strahlverlauf in Abhängigkeit vom Blendendurchmesser. Die Systemblende kann beispielsweise als Kugelblende ausgebildet sein, bei der der Blendenrand bei Verstellung des Blendendurchmessers entlang einer Kugeloberfläche verfahrbar ist. Es ist auch möglich, die Systemblende als Kegelblende auszubilden, bei der der Blendenrand bei Verstellung des Blendendurchmessers auf einer Kegelmantelfläche verfahrbar ist. Dies kann beispielsweise durch eine axial verschiebbare ebene Blende erreicht werden.

Die Erfindung ermöglicht die Konstruktion von Projektionsobjektiven, deren bildseitige numerische Apertur $NA \geq 0,9$ beträgt, wobei bei manchen Ausführungsformen auch $NA > 0,98$, insbesondere $NA = 1,0$, $NA = 1,1$ oder darüber möglich sind. Die Projektionsobjektive können an ein Immersionsfluid angepasst sein, welches bei der Arbeitswellenlänge einen Brechungsindex $n_i > 1,3$ hat. Hierdurch kann eine Verringerung der effektiven Arbeitswellenlänge um ca. 30% oder mehr gegenüber Systemen ohne Immersion geschaffen werden.

Erfindungsgemäße Projektionssysteme können für einen weiten Bereich geeigneter Arbeitsabstände bereitgestellt werden. Dabei ist der objekt-

seitige Arbeitsabstand bzw. der Arbeitsabstand im Objektraum der (kleinste) axiale Abstand zwischen der Objektebene und der Eintrittsfläche des Objektivs, während der bildseitige Arbeitsabstand bzw. der Arbeitsabstand im Bildraum der (kleinste) axiale Abstand zwischen der Austrittsfläche des Objektivs und der Bildebene ist. Der Arbeitsabstand im Bildraum, der bei Trockensystemen mit Gas gefüllt ist, ist bei Immersionssystemen während des Betriebs mit einem Immersionsmedium gefüllt.

Bei der Festlegung des Arbeitsabstandes im Bildraum sind bei Immersionssystemen besondere Kriterien zu berücksichtigen. Ein großer Arbeitsabstand bewirkt einerseits sowohl stärkere Strahlungsverluste wegen der üblicherweise niedrigeren Transmission von Immersionsflüssigkeiten (im Vergleich zu Gasen) als auch einen höheren Aberrationsbeitrag der an der Bildebene anliegenden Flächen speziell für die sphärische Aberration. Andererseits sollte der bildseitige Arbeitsabstand groß genug sein, um eine laminare Strömung eines Immersionsfluides zuzulassen. Gegebenenfalls sollte auch Raum für Messtechnik und Sensoren vorhanden sein. Bei bevorzugten Ausführungsformen beträgt der bildseitige Arbeitsabstand zwischen ca. 1 mm und ca. 15 mm, insbesondere zwischen ca. 1,5 mm und ca. 10 mm. Für den objektseitigen Arbeitsabstand haben sich Werte als günstig herausgestellt, die zwischen ca. 5mm einerseits und ca. 25 % bis 50% des Objektfelddurchmessers andererseits liegen. Werte unterhalb 5mm sind zwar ebenfalls möglich, hier steigen jedoch die Forderungen an die Oberflächenqualität und Materialqualität der ersten Linsenelemente, insbesondere hinsichtlich Schlieren, stark an.

Bevorzugte Ausführungsformen sind als Reduktionsobjektive ausgelegt. Der Betrag $|\beta|$ des Abbildungsmaßstabes liegt vorzugsweise im Bereich von 1/5 bis 1/3, insbesondere zwischen 1/4,5 und 1/3,5, so dass insbesondere Verkleinerungen von 5:1 und 4:1 möglich sind.

Bei einer besonderen Ausführungsform ist in einem Übergangsbereich von der dritten Linsengruppe zur vierten Linsengruppe, d.h. in einem Bereich mit deutlich zunehmendem Strahlbündeldurchmesser und divergenter Strahlung, mindestens ein Linsendoublett vorgesehen, das eine Negativlinse und eine in Durchstrahlungsrichtung unmittelbar folgende Positivlinse umfasst, wobei die Negativlinse eine bildseitige Konkavfläche und die nachfolgende Positivlinse eine objektseitige Konkavfläche hat. Dadurch wird zwischen den Linsen des Doubletts eine bikonvexe Luftlinse geschaffen. Insbesondere ist die Positivlinse eine zur Objektebene konkave Positiv-Meniskuslinse mit einem eintrittsseitigen Linsenradius R_1 und einem austrittsseitigen Linsenradius R_2 , wobei folgende Bedingung gilt: $(R_1 + R_2)/(R_1 - R_2) < -1,5$. Im Bereich des Linsendoubletts, insbesondere an der gegen den Strahlverlauf gekrümmten, konkaven Austrittsseite der Negativlinse, treten hohe Inzidenzwinkel der durchtretenden Strahlung auf, die sehr wirksam zur Korrektur des Gesamtsystems beitragen können. Mindestens eine der an die Luftlinse angrenzenden Linsenflächen kann asphärisch sein. Vorzugsweise sind beide Grenzflächen asphärisch.

Bei einer Weiterbildung ist in der vierten Linsengruppe mindestens eine zur Objektebene konkave Meniskuslinse positiver oder schwach negativer Brechkraft angeordnet, die die Bedingung $D_L/D_{\min} > 1,3$ erfüllt, wobei D_{\min} der kleinste Lichtbündeldurchmesser in der vierten Linsengruppe und D_L der maximale Lichtbündeldurchmesser in der Meniskuslinse ist. Eine Kombination einer schwach negativen Meniskuslinse mit einer Positivlinse im Blendenbereich kann zur Korrektur aperturabhängiger Aberrationen, insbesondere der sphärischen Aberration, wirksam beitragen.

Bei manchen Ausführungsformen bestehen alle Linsen des Projektionsobjektives aus dem gleichen Material. Als Material kann beispielsweise bei Arbeitswellenlängen von 193nm synthetisches Quarzglas und bei

Arbeitswellenlängen von 157nm Kalziumfluorid verwendet werden. Die Verwendung nur einer Materialsorte erleichtert die Herstellung und ermöglicht eine einfache Anpassung des Objektivdesigns an andere Wellenlängen. Es ist auch möglich, mehrere Materialsorten zu kombinieren, um beispielsweise die Korrektur von Farbfehlern zu unterstützen. Auch der Einsatz anderer UV-transparenter Materialien wie BaF_2 , NaF , LiF , SrF , MgF_2 oder dergleichen ist möglich.

Bei manchen Ausführungsformen, die überwiegend aus Quarzglaslinsen aufgebaut sind, bestehen mindestens zwei der in unmittelbarer Nähe der Bildebene angeordneten Linsenelemente aus einem Fluoridkristallmaterial mit gleicher Kristallorientierung. Hierdurch kann die Lebensdauer der Projektionsobjektive verbessert werden. Für die Korrektur des Farbquerfehlers hat es sich als vorteilhaft herausgestellt, wenn in der zweiten Linsengruppe mindestens eine Positivlinse aus einem Fluoridkristallmaterial vorgesehen ist. Auch die Verwendung eines Fluoridkristallmaterials als Linsenmaterial einer Positivlinse in der vierten Linsengruppe kann wirksam zur Korrektur des Farbquerfehlers beitragen. Die Korrektur des Farblängsfehlers kann verbessert werden, wenn bei mindestens einer Negativlinse der dritten Linsengruppe ein Fluoridkristallmaterial als Linsenmaterial verwendet wird.

Die vorstehenden und weitere Merkmale gehen außer aus den Ansprüchen auch aus der Beschreibung und den Zeichnungen hervor, wobei die einzelnen Merkmale jeweils für sich alleine oder zu mehreren in Form von Unterkombinationen bei Ausführungsformen der Erfindung und auf anderen Gebieten verwirklicht sein und vorteilhafte sowie für sich schutzfähige Ausführungen darstellen können. Es zeigen:

Fig.1 ist ein Linsenschnitt durch eine erste Ausführungsform eines refraktiven Projektionsobjektivs, das für 193 nm Arbeitswellenlänge ausgelegt ist;

Fig. 2 ist ein Linsenschnitt durch eine zweite Ausführungsform eines Projektionsobjektivs, das für 193 nm Arbeitswellenlänge ausgelegt ist;

Fig. 3 ist ein Linsenschnitt durch eine dritte Ausführungsform eines Projektionsobjektivs, welches für 193 nm Arbeitswellenlänge ausgelegt ist; und

Fig. 4 ist ein Linsenschnitt durch eine vierte Ausführungsform eines Projektionsobjektivs, welches für 193 nm Arbeitswellenlänge ausgelegt ist.

Fig. 5 ist ein Linsenschnitt durch eine fünfte Ausführungsform eines Projektionsobjektivs, welches für 193 nm Arbeitswellenlänge ausgelegt ist.

Fig. 6 ist ein Linsenschnitt durch eine sechste Ausführungsform eines Projektionsobjektivs, welches für 193 nm Arbeitswellenlänge ausgelegt ist.

Bei der folgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen bezeichnet der Begriff „optische Achse“ eine gerade Linie durch die Krümmungsmittelpunkte der optischen Komponenten. Richtungen und Abstände werden als bildseitig oder bildwärts beschrieben, wenn sie in Richtung der Bildebene bzw. des dort befindlichen, zu belichtenden Substrats gerichtet sind und als objektseitig bzw. objektwärts, wenn sie in Bezug auf die optische Achse zum Objekt gerichtet sind. Das Objekt ist in den Beispielen eine Maske (Retikel) mit dem Muster einer integrierbaren Schaltung, es kann sich aber auch um ein anderes Muster, beispielsweise eines Gitters handeln. Das Bild wird in den Beispielen auf einem als Substrat dienenden, mit einer Photoresistschicht beschichte-

ten Wafer gebildet, jedoch sind auch andere Substrate möglich, beispielsweise Elemente für Flüssigkristallanzeigen oder Substrate für optische Gitter. Die angegebenen Brennweiten sind Brennweiten bezüglich Luft.

Anhand Fig. 1 wird ein typischer Aufbau einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen, rein refraktiven Reduktionsobjektivs 1 gezeigt. Es dient dazu, bei nahezu homogener Immersion ein in einer Objektebene 2 angeordnetes Muster eines Retikels oder dergleichen in eine Bildebene 3 in reduziertem Maßstab abzubilden, beispielsweise im Maßstab 5:1 (Abbildungsmaßstab $\beta = 0,2$). Es handelt sich um ein rotationssymmetrisches Ein-Tailensystem bzw. Zweibauchsystem mit fünf aufeinander folgenden Linsengruppen, die entlang der senkrecht auf Objektebene und Bildebene stehenden optischen Achse 4 angeordnet sind. Die auf die Bildebene 2 folgende erste Linsengruppe LG1 hat negative Brechkraft. Eine darauf folgende zweite Linsengruppe LG2 hat positive Brechkraft. Eine darauf folgende dritte Linsengruppe LG3 hat negative Brechkraft. Eine darauf folgende vierte Linsengruppe hat positive Brechkraft. Eine darauf folgende fünfte Linsengruppe LG5 hat positive Brechkraft. Auf die fünfte Linsengruppe folgt unmittelbar die Bildebene, so dass das Projektionsobjektiv ausser der ersten bis fünften Linsengruppe keine weitere Linse oder Linsengruppe hat. Durch diese Brechkraftverteilung wird ein Zweibauchsystem geschaffen, das einen objektseitigen Bauch 6, einen bildseitigen Bauch 8 und eine dazwischen liegende Taille 7 hat, in der ein Einschnürungsort X mit minimalem Strahldurchmesser liegt. In einem Übergangsbereich von der vierten Linsengruppe zur fünften Linsengruppe liegt im Bereich relativ großer Strahldurchmesser die Systemblende 5.

Die mit dem Projektionsobjektiv mögliche Abbildung kann durch den Verlauf ihrer Hauptstrahlen und Randstrahlen gekennzeichnet werden. Als Hauptstrahl A wird hier ein Strahl bezeichnet, der von einem äüße-

ren Randpunkt des Objektfeldes parallel oder in spitzem Winkel zur optischen Achse verläuft und die optische Achse 4 im Bereich der Systemblende 5 schneidet. Ein Randstrahl B führt von der Mitte des Objektfeldes, d.h. von einem axialen Feldpunkt, zum Blendenrand einer Aperturblende, die normalerweise am Ort der Systemblende 5 oder in deren unmittelbarer Nähe sitzt. Ein Strahl C, der von einem äußeren Feldpunkt zum gegenüberliegenden Rand der Aperturblende führt, wird hier als Komastrahl bezeichnet. Der senkrechte Abstand dieser Strahlen zur optischen Achse ergibt die entsprechenden Strahlhöhen h_A , h_B und h_C .

In Bezug auf diese Strahlverläufe hat die vierte Linsengruppe LG4 eine Eintrittsfläche E, die in der Nähe eines Wendepunktes einer Randstrahlhöhe zwischen der dritten Linsengruppe LG3 und der vierten Linsengruppe LG4 liegt.

Ein erster Linsenbereich LB1 beginnt an der Objektebene 2 und endet in der Ebene, in der sich der Randstrahl B und der Komastrahl C schneiden, so dass im ersten Linsenbereich LB1 die Bedingung $|h_B/h_C| < 1$ erfüllt ist. In diesem Linsenbereich LB1 ist die Hauptstrahlhöhe gross gegen die Randstrahlhöhe. Hier angeordnete Linsenflächen werden als feldnah bezeichnet. Ein zweiter Linsenbereich LB2 erstreckt sich von der Objektebene 2 bis in den Bereich, in dem die Hauptstrahlhöhe und die Randstrahlhöhe betragsmäßig etwa gleich sind, wobei insbesondere $|h_B/h_A| < 1,2$ gilt. Die Länge des zweiten Linsenbereiches LB2 ist bei typischen Varianten erfindungsgemäßer Projektionssysteme größer als ein Viertel und kleiner als die Hälfte des Abstandes L zwischen Objektebene 2 und Bildebene 3. Dieser Objekt-Bild-Abstand wird auch als Baulänge des Projektionsobjektivs bezeichnet.

Bei typischen Ausführungsformen erfindungsgemäßer Projektionsobjektive hat die erste Linsengruppe LG1 mindestens zwei Negativlinsen, die zweite Linsengruppe LG2 mindestens drei Positivlinsen, die dritte

Linsengruppe LG3 mindestens zwei Negativlinsen, die vierte Linsengruppe LG4 mindestens zwei Positivlinsen und die fünfte Linsengruppe LG5 mindestens drei Positivlinsen.

Die auf die Objektebene 2 folgende erste Linsengruppe LG1 ist im wesentlichen zuständig für die Aufweitung der Lichtbündel in den ersten Bauch 6 hinein. Sie hat eine dünne Negativlinse 11 mit asphärischer Eintrittsfläche, eine darauf folgende weitere dünne Negativlinse 12 mit asphärischer Eintrittsfläche und eine darauf folgende dicke doppelt-sphärische Meniskuslinse 13 mit objektseitiger Konkavfläche und schwacher Brechkraft. Die feldnah angeordneten Asphären auf den Eintrittsflächen der objektnächsten Linsen 11, 12 tragen wirksam zur guten Korrektur der Verzeichnung und des Astigmatismus vor allem aber zur Korrektur der Telezentrie, bei. Die Verteilung der Asphärizität auf zwei Linsenflächen unterschiedlicher Linsen kann die Fertigung der Linsen vereinfachen.

Die zweite Linsengruppe LG2 besteht aus vier Positivlinsen 14, 15, 16, 17, nämlich einer eintrittsseitigen Meniskuslinse 14 mit asphärischer Eintrittsfläche und objektseitiger Konkavfläche, einer Bikonvexlinse 15, einem dicken Positiv-Meniskus 16 mit asphärischer, konkaver Austrittsfläche und einem weiteren Positiv-Meniskus mit gleichem Krümmungssinn seiner sphärischen Linsenflächen. Dieser Aufbau, bei dem die Krümmungen der Meniskusflächen objektseitig und bildseitig der Bikonvexlinse 15 gegensinnig und mit voneinander abgewandten Konkavflächen verlaufen, gewährleistet kleine Flächenbelastungen für die Menisken und die Positivlinse und somit geringe Abberationen. Eine bikonkave Luftlinse zwischen der bikonvexen Positivlinse 15 und dem nachfolgenden Meniskus 16 stellt eine starke astigmatistische Unterkorrektur bereit und hat damit einen günstigen Einfluss auf den Ausgleich von Astigmatismusbeiträgen im vorderen Teil des Systems vor der Taille 7.

Die dritte Linsengruppe 3 besteht aus drei Negativlinsen 18, 19, 20. Eine bikonkave Linse 18 mit sphärischen Linsenflächen ist dabei mit Abstand vor dem Einschnürungsort X geringsten Strahldurchmessers angeordnet. Mit Abstand hinter dem Einschnürungsort folgt eine Negativ-Meniskuslinse 19 mit objektseitiger konkaver, sphärischer Eintrittsfläche und asphärischer Austrittsfläche. Dieser folgt eine bikonkave Negativlinse 20 mit sphärischer Eintrittsfläche und asphärischer Austrittsfläche. Die asphärischen Flächen an den Austrittsseiten der Linsen 19, 20 tragen wesentlich zur Korrektur der Koma und des Astigmatismus bei.

Hinter der austrittsseitigen Negativlinse 20 der dritten Linsengruppe LG3 hat das Strahlbündel maximale Divergenz, wobei an der asphärischen Austrittsseite der Linse 20 sehr große Inzidenzwinkel der durchtretenden Strahlung auftreten, die eine starke Korrekturwirkung erzeugen.

Die vierte Linsengruppe LG4 umfasst an ihrer Eintrittsseite zwei zur Objektebene konkave Positiv-Meniskuslinsen 21, 22, auf die unmittelbar vor der Systemblende 5 eine bikonvexe Positivlinse 23 folgt. Dabei ist nur die Eintrittsfläche der vorderen Linse 21 asphärisch, alle anderen Flächen der vierten Linsengruppe sind sphärisch. Während die dritte Linsengruppe LG3 nur aus Negativlinsen besteht und eine starke Strahldivergenz einführt, besteht die nachfolgende vierte Linsengruppe LG4 nur aus Positivlinsen und wirkt stark konvergierend, so dass der Divergenzwinkel zur Systemblende 5 schnell abnimmt. Durch den Übergang zwischen negativer und nachfolgender positiver Brechkraft wird zwischen dritter und vierter Linsengruppe ein Wendepunkt der Randstrahlhöhe erzeugt, in deren Nähe die Eintrittsfläche E der vierten Linsengruppe liegt. Es ist eine Besonderheit dieses Designs, dass zwischen dieser Eintrittsfläche E und der Systemblende keine Linse mit negativer Brechkraft angeordnet ist.

Die hinter der Systemblende 5 liegende fünfte Linsengruppe LG5 ist im wesentlichen für die Erzeugung der hohen numerischen Apertur verantwortlich. Dazu sind ausschließlich sammelnde Linsen vorgesehen, nämlich eine unmittelbar hinter der Systemblende sitzende Positiv-Meniskuslinse mit sphärischer Eintrittsfläche und asphärischer, bildseitig konkaver Austrittsfläche, eine nahezu plankonvexe Positivlinse 26 mit nahezu ebener Eintrittsfläche und konvexer Austrittsfläche, eine darauf folgende Positiv-Meniskuslinse 27 mit sphärischer Eintrittsfläche und bildseitig konkaver, asphärischer Austrittsfläche, eine weitere Positiv-Meniskuslinse 28 mit sphärischer Eintrittsfläche und bildseitig konkaver, asphärischer Austrittsfläche und eine abschließende Plankonvexlinse 29 mit sphärischer Eintrittsfläche und einer ebenen Austrittsfläche. Die Positivlinsen wirken sphärisch stark unterkorrigierend und betreffend der Koma überkorrigierend. Die Korrektur der sphärischen Abberation und der Koma wird bei diesem Design sowohl durch das schwach Negativ-Positiv-Doublett beim Übergang zwischen dritter und vierter Linsengruppe, als auch von den blendennahen asphärischen Flächen der vierten und fünften Linsengruppe getragen. Somit sind die vierte Linsengruppe LG4 und die fünfte Linsengruppe LG5 in Kombination für die Erzielung eines guten Korrektionszustandes der sphärischen Abberation und von Koma zuständig.

Das System hat einen objektseitigen Arbeitsabstand (Objektschnittweite) von 32 mm und einen bildseitigen Arbeitsabstand von 6 mm, der durch eine Immersionsflüssigkeit 10 ausgefüllt werden kann. Das System ist so ausgelegt, dass als Immersionsflüssigkeit bei 193 nm deionisiertes Wasser (Brechungsindex $n \approx 1,47$) oder eine andere geeignete transparente Flüssigkeit mit vergleichbarem Brechungsindex verwendet werden kann.

In Tabelle 1 ist die Spezifikation des Designs in bekannter Weise in tabellarischer Form zusammengefasst. Dabei gibt Spalte 1 die Nummer

einer brechenden oder auf andere Weise ausgezeichneten Fläche, Spalte 2 den Radius r der Fläche (in mm), Spalte 4 den als Dicke bezeichneten Abstand d der Fläche zur nachfolgenden Fläche (in mm) und Spalte 5 das Material der optischen Komponenten an. Spalte 6 zeigt den Brechungsindex des Materials und in Spalte 7 sind die nutzbaren, freien Radien bzw. der halbe freie Durchmesser der Linsen (in mm) angegeben. Die Asphärenflächen sind in Spalte 3 mit „AS“ gekennzeichnet.

Bei der Ausführungsform sind zehn der Flächen, nämlich die Flächen 2, 4, 8, 13, 19, 21, 22, 31, 35 und 37 asphärisch. Tabelle 2 gibt die entsprechenden Asphärendaten an, wobei sich die asphärischen Flächen nach folgender Vorschrift berechnen:

$$p(h) = \left[\frac{(1/r)h^2}{1 + \sqrt{1 - (1+K)(1/r)^2 h^2}} \right] + C_1 h^4 + C_2 h^6 + \dots$$

Dabei gibt der Kehrwert $(1/r)$ des Radius die Flächenkrümmung und h den Abstand eines Flächenpunktes von der optischen Achse (d.h. die Strahlhöhe) an. Somit gibt $p(h)$ die sogenannten Pfeilhöhe, d.h. den Abstand des Flächenpunktes vom Flächenscheitel in z -Richtung, d.h. in Richtung der optischen Achse. Die Konstanten K , C_1 , C_2 , ... sind in Tabelle 2 wiedergegeben.

Das mit Hilfe dieser Angaben reproduzierbare optische System 1 ist für eine Arbeitswellenlänge von ca. 193nm ausgelegt, bei der das für alle Linsen verwendete, synthetisches Quarzglas einen Brechungsindex $n = 1,5608$ hat. Die bildseitige numerische Apertur beträgt 1,0. Das objektseitig und bildseitig telezentrische System ist auf einen Brechungsindex des Immersionsmediums 10 von $n_i = 1,47$ angepasst. Das Objektiv hat eine Baulänge L (Abstand zwischen Bildebene und Objektebene) von ca. 1037 mm. Bei einer Bildgröße von ca. 22 mm wird ein Lichtleitwert (Produkt aus numerischer Apertur und Bildgröße) von ca. 22 mm erreicht.

Einige Besonderheiten des Projektionsobjektivs werden im folgenden erläutert. Das Projektionsobjekt hat nur fünf Negativlinsen, die einerseits in Objektnähe am Eingang (Linsen 11, 12) und andererseits im Bereich der Taille 7 (Linsen 18, 19 und 20) konzentriert sind. Damit gibt es nur an drei Stellen des Systems einen Übergang zwischen Linsen unterschiedlichen Vorzeichens der Brechkraft, nämlich einen Negativ-Positiv-Übergang innerhalb der ersten Linsengruppe LG1 zwischen Linsen 12 und 13, einen Positiv-Negativ-Übergang zwischen den Linsengruppe LG2 und LG3 bzw. den Linsen 17 und 18 und einen Negativ-Positiv-Übergang zwischen den Linsengruppen LG3 und LG4. Hinter dem letzten Übergang, der im Bereich der Eintrittsfläche E der vierten Linsengruppe stattfindet und einen Wendepunkt im Verlauf der Randstrahlhöhe hinter dem Ort X engster Einschnürung definiert, befinden sich bis zur Objektebene nur Positivlinsen. Durch den Verzicht auf Negativlinsen in diesem Bereich und die dadurch mögliche Vermeidung von zerstreuen-den Brechkraften können die Linsendurchmesser im zweiten Bauch 8 relativ gering gehalten werden, wodurch ein insgesamt massearmer Aufbau möglich ist. Gleichzeitig kann die Linsenzahl gering gehalten werden; sie beträgt nur 10 Linsen zwischen dem Ort X engster Einschnürung und der Bildebene und nur 18 Linsen im gesamten System. Dies fördert ebenfalls einen massearmen, kompakten Aufbau.

Mit einer Ausnahme (konvexe Austrittsseite der kleinsten Linse 19 in der Taille 7) sind alle Asphären auf konkaven Linsenflächen angebracht. Dadurch wird die Prüfung der Asphären bei der Herstellung der Linsen erleichtert, weil für die Prüfung konkaver Flächen im Gegensatz zur Prüfung konvexer Flächen relativ kompakte Prüfoptiken verwendet werden können. Aus den Asphärendaten in Tabelle 2 ist ersichtlich, dass bei den Asphären keine starken Deformationen auftreten und dass die asphärischen Flächen entweder keinen oder höchstens einen Wendepunkt ihrer Krümmung haben. Hierdurch wird die Fertigung der Asphä-

ren erleichtert, so dass insbesondere asphärische Flächen mit geringen Oberflächenrauigkeiten möglich sind.

Die bikonkave Negativlinse 20 am Austritt der dritten Linsengruppe LG3 und die bildseitig konkave Positiv-Meniskuslinse 21 am Eingang der vierten Linsengruppe LG4 bilden ein Negativ-Positiv-Linsendoublett, welches einen wesentlichen Beitrag zur Gesamtkorrektur des Systems leistet. Diese kann durch die Auslegung der einander zugewandten Asphärenflächen dieses Linsendoublettes beeinflusst werden, die eine bikonvexe Luftlinse begrenzen, an der hohe Inzidenzwinkel der Strahlung auftreten. Dadurch wird hauptsächlich die sphärische Aberration aller Ordnungen korrigiert. Gleichzeitig werden auch andere Aberrationen höherer Ordnung, wie Koma und Astigmatismus, stark beeinflusst. Die bildseitige Fläche der Linse 20 wirkt wegen der hohen Inzidenzwinkel stark überkorrigierend auf die sphärische Aberration. Im Gegensatz dazu wirkt sich die Form der objektseitigen Fläche der nächsten Linse so aus, dass auf diese die Strahlen mit kleinen Inzidenzwinkeln fallen und so nur kleine Beiträge zur sphärischen Aberration entstehen. Durch die sanfte Umlenkung der Strahlen in den Linsengruppen LG4 und LG5 wird zwar die sphärische Aberration unterkorrigiert, aber nicht stark genug, um die Überkorrektur zu überschreiten. Auf diese Weise wird eine nahezu vollkommene Korrektur erreicht.

Anhand von Fig. 2 wird eine Variante der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform erläutert. Dabei werden die Merkmale des Grundaufbaus mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet wie in Fig. 1. Das System hat eine bildseitige numerische Apertur $NA = 1,1$. Die Spezifikation dieses Designs ist in Tabellen 3 und 4 angegeben.

Der Aufbau der ersten Linsengruppe LG1 und der zweiten Linsengruppe LG2 entspricht im wesentlichen der ersten Ausführungsform in Fig. 1. Im Unterschied dazu ist die dortige dicke Positiv-Meniskuslinse 16 in zwei

dünnere Positiv-Meniskuslinsen 116, 116' aufgespalten, wodurch die Flächenbelastung der optischen Flächen reduziert werden kann. Bei den Linsen der dritten Linsengruppe LG3 ist im wesentlichen die Negativ-Meniskuslinse 19 durch eine bikonkave Negativlinse 119 ersetzt worden, die näher am Ort X kleinster Einschnürung sitzt.

Wie bei der Ausführungsform gemäß Fig. 1 wird die vierte Linsengruppe mit einem objektseitig konkaven Positiv-Meniskus 121 mit asphärischer Eintrittsfläche eingeleitet. Dahinter folgen in der vierten Linsengruppe eine bikonvexe Positivlinse 122 mit asphärischer Eintrittsfläche, eine doppelt sphärische, bikonvexe Positivlinse 123 und einen unmittelbar vor der Systemblende 5 angeordneter Positiv-Meniskus 124 mit schwach positiver Brechkraft. Die Positiv-Meniskuslinse 124 sitzt im schwach divergenten Strahlengang vor der Blende und hat eine objektseitige Konkavfläche, an der relativ hohe Inzidenzwinkel auftreten, die die Korrektur unterstützen.

Die fünfte Linsengruppe LG5 besteht aus fünf Positivlinsen 125, 126, 127, 128 und 129. Eine eintrittsseitige Bikonvexlinse 125 mit asphärischer Austrittsfläche ragt in den Bereich der Systemblende 5 hinein. Darauf folgen drei zur Bildebene konkave Positiv-Meniskuslinsen 126, 127, 128, wobei die Austrittsflächen der beiden letztgenannten Linsen 127, 128 asphärisch sind. Eine Plankonvexlinse 129 mit sphärischer Eintrittsfläche und ebener Austrittsfläche schließt das System bildseitig ab.

Eine Aperturblende mit verstellbarem Blendendurchmesser dieses Systems kann als Kugelblende ausgebildet sein, um beim Abblenden eine Berührung mit der Eintrittsseite der Bikonvexlinse 125 zu vermeiden. Alternativ kann eine axial verfahrbare, gegebenenfalls ebene Blende verwendet werden.

Wie bei der Ausführungsform gemäß Fig. 1 sind nur fünf Negativlinsen vorgesehen, die in zwei Gruppen (Eingangsgruppe 111, 112 und Linsengruppe LG3) konzentriert sind. Dadurch findet nur an drei Stellen ein Wechsel zwischen unterschiedlichen Vorzeichen der Brechkraft statt. Zwischen der Eintrittsfläche E der vierten Linsengruppe und der Bildebene liegen nur Positivilinsen, so dass hier hinter der Taille eine sehr effiziente Strahlzusammenführung Richtung Bildebene stattfindet und die Linsendurchmesser moderat gehalten werden können. Trotz der sehr hohen numerischen Apertur von $NA = 1,1$ ist die Zahl der Linsen mit 20 relativ gering, so dass ein kompakter, masseoptimierter Aufbau erreicht wird.

In Fig. 3 ist eine dritte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Projektionsobjektivs gezeigt, welches eine Variante der ersten oder zweiten Ausführungsformen darstellt. Dabei werden die Merkmale des Grundaufbaus mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet wie in den Fig. 1 und 2. Das System hat eine bildseitige numerische Apertur $NA = 1,1$. Die Spezifikation des Designs ist in Tabellen 5 und 6 angegeben.

Der Aufbau der ersten Linsengruppe LG1 und der zweiten Linsengruppe LG2 entspricht im wesentlichen der Ausführungsform gemäß Fig. 2. Auf die dortige Beschreibung wird verwiesen. Bei den Linsen der dritten Linsengruppe LG3 ist im Unterschied zur Ausführungsform gemäß Fig. 2 die Eintrittsfläche der bikonkaven Meniskuslinse 218 asphärisch. Die nachfolgende Negativlinse 219 ist als Meniskus mit objektseitiger Konkavfläche und asphärischer Austrittsfläche gestaltet und sitzt, wie bei der Ausführungsform in Fig. 1, mit Abstand hinter dem Einschnürungsort X.

Der Aufbau der vierten Linsengruppe LG4 entspricht bezüglich Art und Reihenfolge der Linsen dem Aufbau der ersten Ausführungsform gemäß Fig. 1, so dass auf die dortige Beschreibung Bezug genommen wird. Im

Unterschied zur dortigen Linsengruppe LG4 ist jedoch die Eintrittsseite der mittleren Positivlinse 222 dieser Linsengruppe asphärisch.

Die fünfte Linsengruppe LG2 besteht aus fünf Positivlinsen 225, 226, 227, 228, 229. Die eintrittsseitige, dicke Bikonvexlinse 225 mit asphärischer Austrittsfläche ragt in den Bereich der Systemblende 5 hinein, so dass hier vorzugsweise eine Kugelblende oder eine axial verschiebbare Aperturblende vorgesehen ist. Dahinter folgt eine doppelt-sphärische, bikonvexe Positivlinse 226. Dieser folgen zwei zur Bildebene konkave Positiv-Meniskuslinsen 227, 228, deren Eintrittsflächen sphärisch und deren Austrittsflächen asphärisch sind. Eine Plankonvexlinse 229 mit asphärischer Eintrittsfläche und ebener Austrittsfläche schließt das System bildseitig ab.

Eine Besonderheit dieses Systems im Vergleich zu den anderen System besteht darin, dass der Durchmesser des objektseitigen ersten Bauches deutlich geringer ist als der Durchmesser des bildseitigen zweiten Bauches 8. Es ergibt sich dadurch im Bereich der Eintrittsfläche E der vierten Linsengruppe eine besonders starke Strahldivergenz mit hohen, korrekturwirksamen Inzidenzwinkeln, vor allem am asphärischen Austritt der Negativlinse 220. Das Verhältnis zwischen dem maximalen Durchmesser des zweiten Bauches und dem maximalen Durchmesser des ersten Bauches hängt eng zusammen mit der Farbkorrektur des Systems. Um so kleiner der Durchmesser des ersten Bauches ist, umso besser ist die Korrektur des Farbquerfehlers. Bei dieser Ausführungsform liegt dieses Verhältnis bei ca. 1,37, wodurch eine gute Korrektur des Farbfehlers erreicht wird.

Anhand von Fig. 4 wird eine vierte Ausführungsform erläutert. Dabei werden die Merkmale des Grundaufbaus mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet, wie bei den vorhergehenden Ausführungsformen. Das Sys-

tem hat eine bildseitige numerische Apertur $NA = 1,1$. Die Spezifikation dieses Designs ist in den Tabellen 7 und 8 angegeben.

Der Aufbau der ersten Linsengruppe LG1 und der zweiten Linsengruppe LG2 entspricht im wesentlichen demjenigen der dritten Ausführungsform oder der zweiten Ausführungsform, so dass auf die dortige Beschreibung verwiesen werden kann. Unterschiede bestehen vor allem bei der Auslegung der ausgangsseitigen Linsen 316, 316' und 317 von LG2. Zwar sind diese Linsen, wie bei der Ausführungsform gemäß Fig. 3, als Positiv-Meniskuslinsen mit bildseitigen Konkavflächen ausgelegt, die Durchbiegung unterscheidet sich jedoch von der der anderen Ausführungsformen. Die Positivlinse 316 hat eine sphärische Eintrittsfläche und eine nur schwach gekrümmte, konkave Austrittsfläche. Sie wird gefolgt von einem stark gekrümmten Meniskus 316' mit sehr schwacher Brechkraft und asphärischer Austrittsseite. Dieser folgt mit geringem Luftabstand die gleichsinnig gekrümmte, konvexe, sphärische Eintrittsfläche des Meniskus 317, der eine konkave, sphärische Austrittsfläche hat.

Innerhalb der dritten Linsengruppe LG 3 wird die dortige mittlere Negativlinse 319 durch einen bildseitig konkaven Meniskus mit asphärischer Austrittsfläche gebildet, der in unmittelbarer Nähe des Ortes X geringster Einschnürung sitzt.

Der Übergang zwischen dritter und vierter Linsengruppe wird, wie bei den anderen Ausführungsformen, durch ein stark korrigierendes Linsendoublett 320, 321 mit einander zugewandten, asphärischen Konkavflächen gebildet, in deren Bereich hohe Inzidenzwinkel auftreten.

Innerhalb der vierten Linsengruppe folgt auf den bildseitig konvexen Positiv-Meniskus 321 eine bikonvexe Positivlinse 322 mit asphärischer Eintrittsseite, eine doppelt-sphärische, bikonvexe Positivlinse 323 mit nahezu ebener Austrittsfläche, ein zur Bildebene konkaver Meniskus 324 mit

schwach negativer Brechkraft ($-0,11 \text{ m}^{-1}$) und ein dünner, doppelt-sphärischer Positiv-Meniskus 324' mit objektseitiger Konkavfläche. Die aneinander zugewandten Konkavflächen der Menisken 324, 324' schließen eine bikonvexe Luftlinse ein, in deren Bereich eine kleine Einschnürung des Strahlenganges liegt. Dadurch werden sphärische Aberration und Koma wesentlich leichter korrigiert, was dazu führt, dass der Durchmesser des zweiten Bauches reduziert werden kann.

Der Aufbau der fünften Linsengruppe LG5 hinter der Systemblende 5 entspricht bezüglich der Art der Linsen grundsätzlich der Ausführungsform gemäß Fig. 2, so dass auf die dortige Beschreibung verwiesen wird.

Durch die besondere Gestaltung der Linsen im Ausgangsbereich des ersten Bauches und insbesondere durch die gegensinnig gekrümmten Menisken 324, 324' schwacher Brechkraft unmittelbar vor der Systemblende sind neuartige Korrektionsmittel bereitgestellt, die es ermöglichen, die maximalen Durchmesser der Linsen dieses Systems im Vergleich zu den vorangegangenen Ausführungsformen deutlich zu reduzieren. Hierdurch wird ein massearmer, kompakter Aufbau gefördert.

Anhand von Fig. 5 wird eine Variante der in Fig. 2 gezeigten zweiten Ausführungsform erläutert. Dabei werden die Merkmale des Grundaufbaus mit gleichem Bezugszeichen bezeichnet wie in Fig. 2, die Bezugszeichen für die Linsen sind jeweils um 300 erhöht. Art und Abfolge der Linsen unterscheiden sich nicht von der Ausführungsform gemäß Fig. 2, so dass insoweit auf die dortige Beschreibung Bezug genommen wird. Die Spezifikation dieses Designs ist in den Tabellen 9 und 10 angegeben.

Im Unterschied zum Design gemäß Fig. 2 sind bei dem Projektionsobjektiv 400 die eingangsseitigen Linsen 411, 412 geringfügig dicker ges-

taltet, ebenso die mittlere Linse 419 der dritten Linsengruppe LG3, die hier als Negativ-Meniskus mit bildseitiger Konkavfläche gestaltet ist.

Eine Besonderheit dieses Systems ist ein deutlich kleinerer Arbeitsabstand im Objektraum. Dieser beträgt hier bei einem Objektfelddurchmesser von ca. 112 mm nur 9,14mm (anstatt 32mm bei der zweiten Ausführungsform). (Der Objektfelddurchmesser der Objektive ist jeweils aus den Tabellen entnehmbar als das Doppelte des freien Radius (1/2 Durch.) der Fläche Nr. 0). Durch den kleineren objektseitigen Arbeitsabstand wird der korrigierende Einfluss der ersten Linsengruppe LG1 auf die Bildfeldkrümmung verstärkt. Das ermöglicht einen besonders entspannten Aufbau der dritten Linsengruppe LG3 mit gleichzeitiger Verringerung der Aberrationsbeiträge. Außerdem lassen sich die Telezentrie und Verzeichnung besser korrigieren. Das System gemäß Fig. 5 ist im Vergleich zum System gemäß Fig. 2 allgemein entspannter und besser korrigierbar. Es hat sich gezeigt, dass Werte für den objektseitigen Arbeitsabstand zwischen ca. 5mm und ca. 25% bis ca. 50% des Objektfelddurchmessers besonders günstig sind. Bei Werten unter 5 mm steigen die Forderungen an die Oberflächenqualität und Materialqualität, insbesondere bezüglich Schlieren, der ersten Linsenelemente stark an. Bei größeren Arbeitsabständen verringert sich der Vorteil.

Der Einsatz der Objektschnittweite (objektseitiger Arbeitsabstand) als korrigierendes Mittel kann folgendermaßen erklärt werden: Mit der Reduzierung der Objektschnittweite wird einerseits der Einfluß der ersten Linsengruppe mit negativer Brechkraft auf die Bildfeldkrümmung verstärkt. Das erlaubt einen entspannteren Aufbau der dritten Linsengruppe (Taille), mit gleichzeitiger Verringerung deren Aberrationsbeiträge. Andererseits lassen sich die Telezentrie und die Verzeichnung stärker beeinflussen und dadurch korrigieren. Es ist eine gewisse Trennung von Telezentriekorrektur und Verzeichnungskorrektur möglich.

Ein kurzer Arbeitsabstand im Objektraum lässt nicht nur die Frontlinsen näher an das Objekt kommen, sondern auch die Asphären, die von diesen getragen werden. Das verstärkt zusätzlich deren korrigierende Wirkung auf die feldabhängigen Aberrationen.

Der minimale Abstandswert sollte so eingestellt werden, dass die Subaperturen auf einer Frontasphäre genügend groß sind, damit die Spezifikation der Oberflächengüte im Fehlerbudget noch untergebracht werden kann.

Bei allen hochaperturigen Lithographie-Projektionsobjektiven, beispielsweise mit bildseitigen numerischen Aperturen ab ca. $NA = 0,8$ (trocken) bis zu den in den Beispielen gezeigten Immersionsobjektiven mit $NA = 1,1$ oder größer (derzeit bis ca. $NA = 1,3$) können derart kurze objektseitige Arbeitsabstände hilfreich sein. Dies gilt insbesondere dann, wenn der objektseitige Arbeitsabstand unterhalb von 20 mm oder gar unterhalb von 10 mm liegt. Einschränkungen des freien Bauraums für das Retikel-Handling sind gegenüber den erzielbaren Vorteilen bei der optischen Korrektur bei derart hohen Aperturen in der Regel nachrangig.

Anhand von Fig. 6 wird eine Variante der in Fig. 1 gezeigten ersten Ausführungsform erläutert. Dabei werden die Merkmale des Grundaufbaus mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet wie in Fig. 1. Die Linsen tragen entsprechende Bezugszeichen, erhöht um 500. Die Spezifikation dieses Designs ist in den Tabellen 11 und 12 angegeben.

Im Unterschied zur Ausführungsform gemäß Fig. 1 ist die vierte, auf die Objektebene folgende Linse 514 nicht als Positiv-Meniskus, sondern nahezu als Plankonvexlinse ausgestaltet. Die mittlere Linse 519 der dritten Linsengruppe sitzt mittig zwischen den benachbarten Negativlinsen und ist nicht als Meniskuslinse, sondern als bikonkave Linse gestaltet. Hinter der Systemblende 5 sind alle Linsenelemente als Positiv-

Meniskuslinsen mit bildseitiger Konkavfläche gestaltet. Dadurch werden die Durchmesser im zweiten Bauch kleiner und gleichzeitig wird ein größerer Bewegungsraum für die Systemblende geschaffen. Ein wesentlicher Unterschied zur Ausführungsform gemäß Fig. 1 ist der sehr kleine Arbeitsabstand im Bildraum, der hier nur 1,73mm beträgt (im Gegensatz zu ca. 13mm bei Fig. 1. Hierdurch werden Transmissionsprobleme im Immersionsmedium vermindert.

Die Erfindung betrifft auch eine Projektionsbelichtungsanlage für die Mikrolithographie, die sich dadurch auszeichnet, dass sie ein refraktives Projektionsobjektiv gemäß der Erfindung enthält. Die Projektionsbelichtungsanlage hat vorzugsweise auch Einrichtungen, um zwischen der letzten optischen Fläche des Projektionsobjektivs und dem zu belichtenden Substrat ein Immersionsmedium, beispielsweise eine Flüssigkeit geeigneter Brechzahl, einzubringen und zu halten. Umfasst ist auch ein Verfahren zur Herstellung von Halbleiterbauelementen und anderen fein strukturierten Bauteilen, bei dem ein Bild eines in der Objektebene eines Projektionsobjektivs angeordneten Musters im Bereich der Bildebene abgebildet wird, wobei ein zwischen dem Projektionsobjektiv und dem zu belichtenden Substrat angeordnetes, für Licht der Arbeitswellenlänge transparentes Immersionsmedium durchstrahlt wird.

- - - - -

Tabelle 1

FLÄCHE	RADIEN		DICKEN	MATERIAL	INDEX	½ DURCH.
0	0.000000000		32.000000000	LUFTV193	1.00030168	56.080
1	0.000000000		0.000000000	LUFTV193	1.00030168	64.285
2	-865.050540254	AS	8.000000000	SiO2V	1.56078570	64.285
3	290.818451556		12.977949377	N2VP950	1.00029966	66.587
4	-785.540458496	AS	8.000000000	SiO2V	1.56078570	67.984
5	993.943579336		32.783966724	N2VP950	1.00029966	70.962
6	-111.758943889		84.059022555	SiO2V	1.56078570	72.541
7	-157.792863838		1.000000000	N2VP950	1.00029966	110.623
8	-976.343592324	AS	29.745781546	SiO2V	1.56078570	126.319
9	-302.211713385		1.000000000	N2VP950	1.00029966	128.519
10	861.145865697		39.130890181	SiO2V	1.56078570	135.470
11	-462.739285409		1.000000000	N2VP950	1.00029966	135.872
12	170.741772483		84.048926757	SiO2V	1.56078570	128.315
13	271.206057493	AS	1.000000000	N2VP950	1.00029966	107.756
14	136.915825828		48.838558347	SiO2V	1.56078570	99.678
15	213.245426279		25.207226449	N2VP950	1.00029966	85.576
16	-918.293529854		8.000000000	SiO2V	1.56078570	83.141
17	95.947147485		88.880628458	N2VP950	1.00029966	68.943
18	-114.002344853		8.000000000	SiO2V	1.56078570	68.191
19	-193.441060843	AS	18.779522128	N2VP950	1.00029966	72.266
20	-108.981149024		8.000000000	SiO2V	1.56078570	72.928
21	337.229009012	AS	34.264924267	N2VP950	1.00029966	90.855
22	-378.436104518	AS	41.010541982	SiO2V	1.56078570	99.638
23	-163.510794786		1.000000000	N2VP950	1.00029966	109.697
24	-1048.483558130		48.106157417	SiO2V	1.56078570	131.422
25	-212.098893173		1.000000000	N2VP950	1.00029966	134.785
26	455.564493212		38.863091168	SiO2V	1.56078570	151.792
27	-241.1753669630		9.000000000	N2VP950	1.00029966	151.861
28	0.000000000		0.000000000	N2VP950	1.00029966	151.870
29	0.000000000		1.000000000	N2VP950	1.00029966	151.732
30	396.383711792		20.855290362	SiO2V	1.56078570	154.881
31	692.061959851	AS	53.642541173	N2VP950	1.00029966	154.181
32	-27619.070745400		37.463229296	SiO2V	1.56078570	154.778
33	-416.737141814		1.000000000	N2VP950	1.00029966	154.883
34	208.730269126		50.922368180	SiO2V	1.56078570	136.985
35	1250.936698020	AS	1.000000000	N2VP950	1.00029966	133.556
36	149.168582835		54.192578417	SiO2V	1.56078570	109.143
37	195.589235389	AS	1.000000000	N2VP950	1.00029966	87.757
38	133.474284291		100.901991415	SiO2V	1.56078570	81.472
39	0.000000000		6.000000000	H2OV	1.43636732	19.897
40	0.000000000		-0.000005061		1.00000000	14.020

Tabelle 2

ASPHÄRISCHE KONSTANTEN

FLÄCHE NR. 2	
K	0.0000
C1	2.22079559e-007
C2	-2.64018719e-011
C3	2.50852766e-015
C4	-3.25400366e-019
C5	3.53141037e-023
C6	-2.57029540e-027
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 13	
K	0.0000
C1	5.69048541e-009
C2	2.22660165e-013
C3	5.06834788e-019
C4	-5.28569590e-022
C5	-7.86940964e-027
C6	-2.04428899e-031
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 4	
K	0.0000
C1	7.87748495e-009
C2	1.51301853e-011
C3	-1.45712594e-015
C4	1.23713065e-019
C5	-1.06714221e-023
C6	9.37529787e-028
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 19	
K	0.0000
C1	3.73796256e-008
C2	-3.23750168e-012
C3	-2.99948447e-016
C4	-1.26432681e-020
C5	-1.99316836e-024
C6	2.17020495e-028
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 8	
K	0.0000
C1	1.15089618e-009
C2	1.75526288e-013
C3	5.50342306e-018
C4	-5.03060695e-023
C5	-3.74390222e-027
C6	2.35013568e-032
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 21	
K	0.0000
C1	-4.47941204e-008
C2	1.91031010e-012
C3	-6.87449830e-017
C4	3.10021117e-021
C5	-2.27317966e-025
C6	7.02595515e-030
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

Tabelle 2 (Fortsetzung)

FLÄCHE NR. 22	
K	0.0000
C1	-2.17284274e-008
C2	2.24196148e-013
C3	-5.21041812e-018
C4	-9.18268284e-023
C5	3.33452899e-027
C6	1.17806194e-030
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 31	
K	0.0000
C1	4.34168273e-010
C2	6.79894644e-014
C3	8.53259806e-019
C4	-3.70631658e-023
C5	9.42929641e-028
C6	-9.21609297e-033
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 35	
K	0.0000
C1	-4.95304387e-010
C2	3.68346595e-013
C3	-1.14699839e-017
C4	3.56713006e-022
C5	-8.33238537e-027
C6	1.16876976e-031
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 37	
K	0.0000
C1	6.27172010e-009
C2	4.74147771e-013
C3	6.99599832e-017
C4	-8.95486009e-022
C5	7.42088130e-026
C6	1.36162977e-029
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

Tabelle 3

FLÄCHE	RADIEN		DICKEN	MATERIAL	INDEX	1/2 DURCH.
0	0.000000000		32.000000000	LUFTV193	1.00030168	56.080
1	0.000000000		0.000000000	LUFTV193	1.00030168	65.329
2	-862.369062961	AS	7.338632000	SiO2V	1.56078570	65.329
3	1729.160869900		8.274822683	N2VP950	1.00029966	66.763
4	-447.956682044	AS	7.338632000	SiO2V	1.56078570	67.694
5	395.435201480		39.423033814	N2VP950	1.00029966	71.219
6	-103.758498877		72.684309488	SiO2V	1.56078570	72.711
7	-154.563177595		0.917329000	N2VP950	1.00029966	108.819
8	-780.383884859	AS	32.249416462	SiO2V	1.56078570	125.591
9	-256.700260496		0.917329000	N2VP950	1.00029966	127.994
10	890.876055318		40.079600210	SiO2V	1.56078570	137.132
11	-439.438418565		0.917329000	N2VP950	1.00029966	137.633
12	174.112406867		37.588836160	SiO2V	1.56078570	131.138
13	294.417657706		0.917329000		1.000000000	128.131
14	193.947508268		19.661875223	SiO2V	1.56078570	122.533
15	254.407260784	AS	0.917329000	N2VP950	1.00029966	118.763
16	150.175439934		46.836170975	SiO2V	1.56078570	110.351
17	634.351476536		12.890800996	N2VP950	1.00029966	105.519
18	-6207.994384690		7.338632000	SiO2V	1.56078570	101.889
19	89.325322950		57.391056746	N2VP950	1.00029966	75.356
20	4999.526146000		7.338632000	SiO2V	1.56078570	73.134
21	179.724355387	AS	48.429517423	N2VP950	1.00029966	71.160
22	-99.598077900		7.338632000	SiO2V	1.56078570	71.490
23	303.140682220	AS	29.505975384	N2VP950	1.00029966	91.187
24	-370.484993955	AS	59.205322959	SiO2V	1.56078570	95.002
25	-136.850476930		0.917329000	N2VP950	1.00029966	109.198
26	833.250243086	AS	32.644361706	SiO2V	1.56078570	144.418
27	-773.094655176		0.917329000	N2VP950	1.00029966	146.324
28	2441.087142480		19.909286963	SiO2V	1.56078570	152.142
29	-1510.264560440		88.047728958	N2VP950	1.00029966	153.326
30	-249.859723486		48.358305705	SiO2V	1.56078570	160.594
31	-214.008029106		24.481325311	N2VP950	1.00029966	169.839
32	0.000000000		0.000000000	N2VP950	1.00029966	169.727
33	0.000000000		-19.902925311	N2VP950	1.00029966	170.008
34	605.505698754		44.392798544	SiO2V	1.56078570	170.298
35	-1225.711846280	AS	0.917329000	N2VP950	1.00029966	170.093
36	268.380703332		42.756143122	SiO2V	1.56078570	162.321
37	673.253223882		0.917329000	N2VP950	1.00029966	159.910
38	227.991051127		32.036009978	SiO2V	1.56078570	146.725
39	386.401662820	AS	0.917329000	N2VP950	1.00029966	142.860
40	162.089277636		39.331357629	SiO2V	1.56078570	125.201
41	280.403904868	AS	0.261317709	N2VP950	1.00029966	119.607
42	140.568776863		116.047901278	SiO2V	1.56078570	102.577
43	0.000000000		13.799062914	H2OV	1.43636732	30.675
44	0.000000000		-0.000004642		1.000000000	14.021

Tabelle 4

ASPHÄRISCHE KONSTANTEN

FLÄCHE NR. 2	
K	0.0000
C1	2.19548056e-007
C2	-2.55904121e-011
C3	2.12575595e-015
C4	-2.50297943e-019
C5	3.13467504e-023
C6	-2.79504784e-027
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 4	
K	0.0000
C1	1.21102797e-008
C2	1.78786393e-011
C3	-1.87389050e-015
C4	1.72877663e-019
C5	-1.98845633e-023
C6	1.78566034e-027
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 8	
K	0.0000
C1	-9.80034077e-010
C2	2.46895064e-013
C3	4.48590254e-018
C4	-1.11608746e-022
C5	-2.09316739e-028
C6	-1.30605266e-032
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 15	
K	0.0000
C1	6.09055369e-009
C2	2.84395774e-013
C3	-7.49910993e-019
C4	-1.80830244e-022
C5	3.10893772e-027
C6	-2.97216228e-031
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 21	
K	0.0000
C1	1.32575347e-008
C2	8.58331790e-013
C3	-1.94468414e-016
C4	-1.29822097e-020
C5	-1.77617526e-024
C6	-5.15388789e-029
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 23	
K	0.0000
C1	-1.18145642e-008
C2	-2.83190683e-012
C3	2.26490366e-016
C4	-6.32627810e-021
C5	-1.50743622e-025
C6	8.70173390e-030
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

Tabelle 4 (Fortsetzung)

FLÄCHE NR. 24	
K	0.0000
C1	-3.01246654e-008
C2	1.06355654e-012
C3	2.64650202e-017
C4	-5.31683508e-022
C5	7.81208963e-026
C6	3.39162041e-031
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 39	
K	0.0000
C1	1.07703763e-009
C2	3.77796386e-014
C3	6.64204598e-018
C4	-2.44938953e-022
C5	6.79537323e-027
C6	-7.97331309e-032
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 26	
K	0.0000
C1	-4.05454064e-010
C2	-9.90878824e-014
C3	-3.34054558e-018
C4	1.64085791e-022
C5	-3.65955875e-027
C6	2.72435876e-032
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 41	
K	0.0000
C1	7.20956318e-009
C2	-4.70255323e-013
C3	4.99805454e-018
C4	3.18969937e-022
C5	-1.99338016e-026
C6	4.74226957e-031
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 35	
K	0.0000
C1	-3.08382689e-009
C2	1.05186842e-013
C3	-1.54488832e-018
C4	2.62389724e-023
C5	-3.61488247e-028
C6	3.85542172e-033
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

Tabelle 5

FLÄCHE	RADIEN		DICKEN	MATERIAL	INDEX	½ DURCH.
0	0.000000000		32.000000000	LUFTV193	1.00030168	56.080
1	0.000000000		0.000000000	LUFTV193	1.00030168	65.155
2	-1048.799448010	AS	8.000000000	SIO2V	1.56078570	65.155
3	357.466074350		15.577785773	N2VP950	1.00029966	67.527
4	-333.124141019	AS	8.000000000	SIO2V	1.56078570	68.924
5	-6820.155766490		32.518686615	N2VP950	1.00029966	72.732
6	-108.770146111		70.263717141	SIO2V	1.56078570	74.375
7	-162.558742016		1.000000000	N2VP950	1.00029966	109.658
8	-727.250432030	AS	36.345994520	SIO2V	1.56078570	125.724
9	-234.557132237		1.000000000	N2VP950	1.00029966	128.456
10	-9857.135615630		30.073073529	SIO2V	1.56078570	135.510
11	-416.488132376		1.000000000	N2VP950	1.00029966	136.485
12	177.128692467		48.877488263	SIO2V	1.56078570	136.329
13	394.792585911		1.000000000		1.000000000	133.281
14	177.767357652		20.430936240	SIO2V	1.56078570	122.702
15	218.676264170	AS	1.000000000	N2VP950	1.00029966	118.151
16	155.471795544		47.586544113	SIO2V	1.56078570	112.186
17	242.337161267		28.571587020	N2VP950	1.00029966	98.491
18	-759.907092606	AS	8.000000000	SIO2V	1.56078570	95.650
19	102.688590330		81.578758663	N2VP950	1.00029966	76.465
20	-160.625087377		8.000000000	SIO2V	1.56078570	73.506
21	-289.596594758	AS	32.123693558	N2VP950	1.00029966	75.482
22	-94.386389420		8.000000000	SIO2V	1.56078570	75.641
23	393.984728152	AS	43.431984001	N2VP950	1.00029966	100.441
24	-383.629532182	AS	48.428600019	SIO2V	1.56078570	115.392
25	-159.278903132		1.000000000	N2VP950	1.00029966	123.564
26	-1493.341508910	AS	41.723752694	SIO2V	1.56078570	155.895
27	-311.773166805		1.000000000	N2VP950	1.00029966	159.465
28	790.204177656		64.210221574	SIO2V	1.56078570	183.877
29	-513.494438444		48.508920065	N2VP950	1.00029966	184.913
30	0.000000000		0.000000000	N2VP950	1.00029966	183.970
31	0.000000000		-4.679353550	N2VP950	1.00029966	184.111
32	1228.823190020		99.991561318	SIO2V	1.56078570	184.706
33	-727.663147183	AS	1.000000000	N2VP950	1.00029966	184.894
34	543.534872302		45.268294559	SIO2V	1.56078570	178.330
35	-2190.264622390		1.000000000	N2VP950	1.00029966	176.712
36	321.195671013		38.692254682	SIO2V	1.56078570	157.822
37	1247.251021990	AS	1.000000000	N2VP950	1.00029966	154.258
38	152.057533078		64.095023650	SIO2V	1.56078570	121.939
39	242.847796060	AS	-0.663115549	N2VP950	1.00029966	102.223
40	159.282474016	AS	100.471918401	SIO2V	1.56078570	92.400
41	0.000000000		6.000000000	H2OV	1.43636732	21.211
42	0.000000000		-0.000005061		1.000000000	14.020

Tabelle 6

ASPHÄRISCHE KONSTANTEN

FLÄCHE NR. 2	
K	0.0000
C1	1.68161638e-007
C2	-1.54096885e-011
C3	6.84912375e-016
C4	-1.65634098e-020
C5	-4.21003140e-024
C6	-3.70097554e-029
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 4	
K	0.0000
C1	4.16802658e-008
C2	7.71901817e-012
C3	-4.85374566e-016
C4	2.38634680e-020
C5	-4.52727128e-024
C6	7.55327461e-028
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 8	
K	0.0000
C1	-1.03251955e-009
C2	3.10271087e-013
C3	9.94527633e-019
C4	-1.95266425e-024
C5	-1.31835831e-027
C6	-8.30589618e-032
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 15	
K	0.0000
C1	6.90734885e-009
C2	3.24772979e-013
C3	-4.32878458e-018
C4	8.45718239e-023
C5	-7.59398340e-027
C6	-8.33908359e-032
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 18	
K	0.0000
C1	2.57656877e-008
C2	-5.66778843e-013
C3	1.33836752e-017
C4	1.55594835e-021
C5	-2.95962449e-026
C6	8.80071238e-032
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 21	
K	0.0000
C1	3.59827387e-008
C2	-1.04290688e-012
C3	-2.20602889e-016
C4	-6.36815229e-021
C5	-1.16915922e-024
C6	9.91429003e-029
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

Tabelle 6 (Fortsetzung)

FLÄCHE NR. 23	
K	0.0000
C1	-2.10673727e-008
C2	-3.25666448e-013
C3	8.28426538e-017
C4	-5.44862524e-021
C5	1.92784030e-025
C6	-2.98813211e-030
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 24	
K	0.0000
C1	-1.96101498e-008
C2	5.26331679e-013
C3	-7.77887850e-018
C4	-8.47002846e-023
C5	8.55175584e-027
C6	8.94134535e-032
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 26	
K	0.0000
C1	-3.49919825e-009
C2	-1.30490066e-014
C3	-5.06174090e-019
C4	9.13296563e-023
C5	-2.55183113e-027
C6	3.40427662e-032
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 33	
K	0.0000
C1	-3.95098549e-010
C2	6.14454866e-014
C3	-8.49150328e-019
C4	1.23852443e-023
C5	-1.40221953e-028
C6	1.12769246e-033
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 37	
K	0.0000
C1	-6.81965171e-010
C2	1.52609195e-013
C3	-2.77686953e-018
C4	7.44204272e-023
C5	-1.04495599e-027
C6	1.09377342e-032
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 39	
K	0.0000
C1	-1.36259017e-008
C2	-5.89574710e-013
C3	4.45586739e-017
C4	-3.23689763e-021
C5	1.35843971e-025
C6	-2.48308030e-030
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

Tabelle 6 (Fortsetzung)

FLÄCHE NR. 40	
K	0.0000
C1	3.65468233e-009
C2	-4.30642726e-013
C3	-2.68984250e-017
C4	-3.34659737e-021
C5	-8.98569869e-026
C6	-7.82863465e-030
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

Tabelle 7

FLÄCHE	RADIEN		DICKEN	MATERIAL	INDEX	½ DURCH.
0	0.000000000		32.000000000	LUFTV193	1.00030168	56.080
1	0.000000000		0.000000000	LUFTV193	1.00030168	65.489
2	-1062.644333890	AS	7.338632000	SIO2V	1.56078570	65.489
3	255.022949911		16.160579368	N2VP950	1.00029966	68.355
4	-489.014433512	AS	7.338632000	SIO2V	1.56078570	69.941
5	-953.561289631		30.032974919	N2VP950	1.00029966	72.518
6	-107.396495083		74.650939249	SIO2V	1.56078570	74.020
7	-161.142164897		0.917329000	N2VP950	1.00029966	111.131
8	-488.188913438	AS	30.492609399	SIO2V	1.56078570	125.220
9	-232.490185472		0.917329000	N2VP950	1.00029966	127.932
10	1343.823788180		38.249501740	SIO2V	1.56078570	138.358
11	-419.035035978		0.917329000	N2VP950	1.00029966	139.112
12	306.451436457		35.457384811	SIO2V	1.56078570	137.109
13	2158.254218050		0.917329000		1.000000000	135.666
14	159.158336522		32.442139208	SIO2V	1.56078570	121.180
15	127.737640923	AS	4.348966155	N2VP950	1.00029966	104.078
16	118.494774202		54.712473071	SIO2V	1.56078570	102.621
17	412.552433435		16.035419865	N2VP950	1.00029966	98.302
18	-4861.779621850		7.338632000	SIO2V	1.56078570	95.571
19	91.974383893		43.651541247	N2VP950	1.00029966	74.779
20	327.075494024		7.338632000	SIO2V	1.56078570	74.236
21	135.224109914	AS	61.165891668	N2VP950	1.00029966	72.300
22	-94.564006353		7.338632000	SIO2V	1.56078570	73.152
23	443.040353676	AS	31.146857264	N2VP950	1.00029966	95.986
24	-279.871691536	AS	60.693055925	SIO2V	1.56078570	99.666
25	-136.823756204		0.917329000	N2VP950	1.00029966	114.157
26	704.411514093	AS	35.987586734	SIO2V	1.56078570	154.664
27	-948.888201521		0.917329000	N2VP950	1.00029966	156.351
28	559.811238443		31.625999039	SIO2V	1.56078570	166.779
29	12181.115095000		0.917329000	N2VP950	1.00029966	167.117
30	380.238637765		27.195202255	SIO2V	1.56078570	170.304
31	343.392987049		92.899538604	N2VP950	1.00029966	166.494
32	-322.169569503		29.169280971	SIO2V	1.56078570	166.857
33	-260.838847150		9.648793391	N2VP950	1.00029966	170.326
34	0.000000000		0.000000000	N2VP950	1.00029966	169.266
35	0.000000000		-5.070393391	N2VP950	1.00029966	169.539
36	1144.263596070		39.257312498	SIO2V	1.56078570	170.163
37	-798.249268006	AS	0.917329000	N2VP950	1.00029966	170.326
38	229.347879309		46.353683772	SIO2V	1.56078570	162.434
39	462.344917067		0.917329000	N2VP950	1.00029966	159.841
40	211.811588624		34.925776908	SIO2V	1.56078570	147.256
41	350.839735917	AS	0.921675011	N2VP950	1.00029966	143.083
42	165.268731319		38.136683982	SIO2V	1.56078570	126.377
43	299.200544748	AS	0.875756502	N2VP950	1.00029966	120.636
44	137.008198061		116.675902093	SIO2V	1.56078570	102.388
45	0.000000000		13.114474182	H2OV	1.43636732	30.176
46	0.000000000		-0.000004642		1.000000000	14.020

Tabelle 8

ASPHÄRISCHE KONSTANTEN

FLÄCHE NR. 2	
K	0.0000
C1	1.68614396e-007
C2	-1.62938343e-011
C3	1.05824627e-015
C4	-1.37635154e-019
C5	1.19544176e-023
C6	-1.08466996e-027
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 4	
K	0.0000
C1	2.66602257e-008
C2	8.08770917e-012
C3	-5.17405228e-016
C4	5.24648371e-020
C5	-5.31079981e-024
C6	7.03891423e-028
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 8	
K	0.0000
C1	5.53336885e-010
C2	1.96957658e-013
C3	3.33693370e-018
C4	8.08706552e-023
C5	-4.53301354e-027
C6	5.92857180e-032
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 15	
K	0.0000
C1	4.38226999e-009
C2	3.29996569e-013
C3	1.05160037e-017
C4	1.87360439e-021
C5	-9.58603937e-026
C6	9.89801169e-030
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 21	
K	0.0000
C1	-5.05562903e-008
C2	-1.71111261e-012
C3	-2.39846224e-016
C4	-9.56041789e-021
C5	-2.55077988e-024
C6	1.19373744e-028
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 23	
K	0.0000
C1	-9.36460326e-009
C2	-1.95070287e-012
C3	1.26771856e-016
C4	-1.61670698e-021
C5	-1.70527743e-025
C6	4.82096354e-030
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

Tabelle 8 (Fortsetzung)

FLÄCHE NR. 24	
K	0.0000
C1	-1.57685441e-008
C2	7.13669735e-013
C3	1.19267788e-017
C4	1.05805275e-021
C5	-5.62569676e-026
C6	4.37929930e-030
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 26	
K	0.0000
C1	-9.64817190e-010
C2	-9.31263573e-014
C3	8.41272007e-019
C4	1.13509448e-023
C5	-3.23524042e-028
C6	2.54061862e-034
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 37	
K	0.0000
C1	-2.58804293e-009
C2	5.52462737e-014
C3	1.45362116e-019
C4	-8.27631859e-024
C5	1.95716231e-028
C6	-1.15654876e-033
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 41	
K	0.0000
C1	7.57307476e-010
C2	9.35948303e-014
C3	2.83877521e-018
C4	-3.88341724e-023
C5	-4.69204092e-028
C6	2.40453633e-032
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 43	
K	0.0000
C1	1.65656760e-008
C2	-3.94462332e-013
C3	5.26534821e-018
C4	8.11693181e-023
C5	8.51261908e-028
C6	-8.63707035e-033
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

Tabelle 9

FLÄCHE	RADIEN		DICKEN	MATERIAL	INDEX	½ DURCH.
0	0.000000000		9.142005173	LUFTV193	1.00030168	56.080
1	0.000000000		0.000000000	LUFTV193	1.00030168	58.731
2	-1470.436757280	AS	13.765312317	SIO2V	1.56078570	58.731
3	-3309.611646770		13.689116258	N2VP950	1.00029966	60.942
4	-153.660957229	AS	16.198295814	SIO2V	1.56078570	61.761
5	-1763.435772780		31.442460406	N2VP950	1.00029966	69.003
6	-101.844101742		76.042936327	SIO2V	1.56078570	70.803
7	-163.782835464		0.917378575	N2VP950	1.00029966	108.830
8	-1459.635075060	AS	54.159718049	SIO2V	1.56078570	125.867
9	-248.697896110		4.472798922	N2VP950	1.00029966	132.539
10	560.790862895		42.185267856	SIO2V	1.56078570	141.601
11	-609.964403728		0.918264301	N2VP950	1.00029966	141.592
12	198.271861860		27.448715534	SIO2V	1.56078570	132.123
13	290.843457645		0.917329000		1.00000000	129.324
14	188.555316943		20.510844557	SIO2V	1.56078570	123.887
15	247.160314957	AS	0.917329000	N2VP950	1.00029966	120.246
16	155.775852649		47.187992124	SIO2V	1.56078570	113.216
17	664.453413397		13.812670100	N2VP950	1.00029966	108.654
18	-3356.640701870		8.416525213	SIO2V	1.56078570	105.334
19	90.376617717	AS	54.983687982	N2VP950	1.00029966	78.772
20	415.881397199		24.694228340	SIO2V	1.56078570	76.825
21	136.348844236	AS	53.170614917	N2VP950	1.00029966	71.868
22	-101.270354507		7.338632000	SIO2V	1.56078570	72.201
23	315.796684812	AS	30.566540809	N2VP950	1.00029966	91.548
24	-323.927336065	AS	57.126593193	SIO2V	1.56078570	95.152
25	-134.032849637		0.917337523	N2VP950	1.00029966	108.301
26	774.857052737	AS	32.455181674	SIO2V	1.56078570	142.537
27	-796.651828605		0.917486275	N2VP950	1.00029966	144.320
28	2090.903995650		19.600542254	SIO2V	1.56078570	149.676
29	-1654.430592690		106.639451642	N2VP950	1.00029966	150.742
30	-251.588121950		48.355102294	SIO2V	1.56078570	160.496
31	-218.239336745		26.904051486	N2VP950	1.00029966	170.054
32	0.000000000		0.000000000	N2VP950	1.00029966	169.725
33	0.000000000		-22.325651487	N2VP950	1.00029966	170.012
34	553.234026434		47.365023716	SIO2V	1.56078570	170.296
35	-1166.719282260	AS	0.917329000	N2VP950	1.00029966	170.011
36	251.636939637		38.983925925	SIO2V	1.56078570	160.302
37	490.044240843		0.917329000	N2VP950	1.00029966	157.650
38	225.522557608		32.229047503	SIO2V	1.56078570	146.808
39	379.561748132	AS	0.917329000	N2VP950	1.00029966	142.928
40	161.928081339		40.681093415	SIO2V	1.56078570	125.478
41	298.179623509	AS	0.264406882	N2VP950	1.00029966	119.880
42	142.195492897		115.800030845	SIO2V	1.56078570	102.493
43	0.000000000		13.207879330	H2OV	1.43636732	29.971
44	0.000000000		-0.000004642		1.00000000	14.020

Tabelle 10

ASPHÄRISCHE KONSTANTEN

FLÄCHE NR. 2	
K	0.0000
C1	1.12469050e-007
C2	-3.50824385e-012
C3	-2.74862507e-016
C4	-9.33617181e-020
C5	4.62214912e-023
C6	-2.44278252e-027
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 4	
K	0.0000
C1	1.40101009e-007
C2	-9.52563322e-013
C3	3.75239564e-017
C4	-7.55582902e-020
C5	6.00534431e-024
C6	-2.68655709e-027
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 8	
K	0.0000
C1	-7.38527199e-009
C2	6.03324901e-013
C3	-1.60270644e-017
C4	4.33148931e-022
C5	-8.09105093e-027
C6	4.84794945e-032
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 15	
K	0.0000
C1	6.99382393e-009
C2	2.94148363e-013
C3	-9.11800329e-018
C4	1.91618690e-022
C5	-4.40019705e-027
C6	-1.08562596e-031
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 19	
K	-0.1408
C1	0.00000000e+000
C2	0.00000000e+000
C3	0.00000000e+000
C4	0.00000000e+000
C5	0.00000000e+000
C6	0.00000000e+000
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 21	
K	0.0000
C1	-1.89926056e-008
C2	-9.48909538e-013
C3	-1.00991502e-016
C4	-1.76312640e-020
C5	-3.18703391e-025
C6	-2.53640530e-028
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

Tabelle 10 (Fortsetzung)

FLÄCHE NR. 23	
K	0.0000
C1	-1.45577789e-008
C2	-1.93419367e-012
C3	8.86661418e-017
C4	4.86248409e-021
C5	-5.62562318e-025
C6	1.49006191e-029
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 24	
K	0.0000
C1	-2.59671120e-008
C2	1.04865633e-012
C3	2.30233796e-017
C4	4.93824742e-022
C5	-2.54396468e-026
C6	3.57571325e-030
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 26	
K	0.0000
C1	-3.10596549e-010
C2	-1.27212114e-013
C3	-2.15526174e-018
C4	1.18522610e-022
C5	-2.43335508e-027
C6	6.68951355e-033
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 35	
K	0.0000
C1	-3.09623921e-009
C2	1.10211887e-013
C3	-1.63603595e-018
C4	2.33267959e-023
C5	-1.93983389e-028
C6	1.41288956e-033
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 39	
K	0.0000
C1	1.45949460e-009
C2	1.84182220e-014
C3	7.21345576e-018
C4	-2.08810169e-022
C5	4.08729831e-027
C6	-4.05213812e-032
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 41	
K	0.0000
C1	1.08716684e-008
C2	-5.59272513e-013
C3	7.30283609e-018
C4	-1.55126694e-023
C5	3.59751728e-027
C6	-4.37399769e-032
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

Tabelle 11

FLÄCHE	RADIEN		DICKEN	MATERIAL	INDEX	½ DURCH.
0	0.000000000		31.931002664		1.00000000	56.080
1	-347.236440528	AS	8.000000000	SIO2HL	1.56028890	66.189
2	219.915562477		31.898415728	N2VP950	1.00000300	70.391
3	-170.858136470		8.000000000	SIO2HL	1.56028890	72.892
4	1107.474957290	AS	22.589356201	N2VP950	1.00000300	89.106
5	-218.108339374	AS	63.099650288	SIO2HL	1.56028890	93.885
6	-135.240822500		1.000000000	N2VP950	1.00000300	109.625
7	32003.375547500		47.413691277	SIO2HL	1.56028890	137.108
8	-282.465638980		1.000000000	N2VP950	1.00000300	139.973
9	297.920255954		48.926206712	SIO2HL	1.56028890	151.093
10	-1765.218425420	AS	1.000000000	N2VP950	1.00000300	149.869
11	155.350309269		62.064795636	SIO2HL	1.56028890	138.044
12	287.967865928		1.000000000	N2VP950	1.00000300	131.984
13	197.466973091		46.435923957	SIO2HL	1.56028890	123.714
14	155.967795233	AS	1.000000000	N2VP950	1.00000300	102.169
15	175.615580039		8.000000000	SIO2HL	1.56028890	98.890
16	81.433239279		58.962282942	N2VP950	1.00000300	76.029
17	-1042.836597030		8.000000000	SIO2HL	1.56028890	75.001
18	236.916783020	AS	57.069488559	N2VP950	1.00000300	72.144
19	-81.739367888		8.000000000	SIO2HL	1.56028890	71.687
20	375.086948338	AS	30.278553523	N2VP950	1.00000300	99.714
21	-342.008767539		57.142725147	SIO2HL	1.56028890	104.436
22	-160.258782239		1.000000000	N2VP950	1.00000300	119.685
23	-856.839164376	AS	34.689165048	SIO2HL	1.56028890	148.650
24	-379.653604287		1.000000000	N2VP950	1.00000300	152.636
25	584.985383859	AS	45.511042875	SIO2HL	1.56028890	172.438
26	-958.601764530		1.000000000	N2VP950	1.00000300	174.054
27	666.780520883	AS	50.027876765	SIO2HL	1.56028890	180.001
28	-963.390274276		-11.963951541	N2VP950	1.00000300	179.996
29	0.000000000		29.192598777	N2VP950	1.00000300	179.451
30	278.073032381		42.845705807	SIO2HL	1.56028890	179.994
31	488.477056296		1.000000000	N2VP950	1.00000300	177.191
32	229.130061526		59.928766081	SIO2HL	1.56028890	168.083
33	493.528859065	AS	1.000000000	N2VP950	1.00000300	163.249
34	168.416619548		45.625591423	SIO2HL	1.56028890	134.017
35	311.455238476	AS	1.000000000	N2VP950	1.00000300	125.436
36	111.636678699		48.342194715	SIO2HL	1.56028890	97.724
37	210.829981018	AS	1.000000000	N2VP950	1.00000300	81.689
38	124.000721148		73.536543337	SIO2HL	1.56028890	75.223
39	0.000000000		1.737330768	IMMERS	1.43500000	16.708
40	0.000000000		0.000000000		1.00000000	14.020

Tabelle 12

ASPHÄRISCHE KONSTANTEN

FLÄCHE NR. 1	
K	0.0000
C1	3.43015837e-007
C2	-4.07245548e-011
C3	5.68690697e-015
C4	-9.66005925e-019
C5	1.80932906e-022
C6	-2.31865517e-026
C7	1.32319202e-030
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 4	
K	0.0000
C1	1.45742246e-007
C2	-2.96891550e-011
C3	2.11941800e-015
C4	1.87281593e-021
C5	-1.70520532e-023
C6	1.41301018e-027
C7	-4.45795966e-032
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 5	
K	0.0000
C1	1.14210231e-007
C2	-2.56390958e-012
C3	6.23158150e-017
C4	-1.54942908e-020
C5	2.11301267e-024
C6	-1.87409843e-028
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 10	
K	0.0000
C1	3.14962178e-008
C2	-1.06476758e-012
C3	3.51750146e-017
C4	-1.39021700e-021
C5	5.08855180e-026
C6	-1.41732059e-030
C7	2.05140486e-035
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 14	
K	0.0000
C1	-1.80801250e-007
C2	1.03835381e-011
C3	-1.22571643e-016
C4	-4.12834819e-021
C5	-2.33128210e-024
C6	3.14464121e-028
C7	-1.42364051e-032
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 18	
K	0.0000
C1	4.71514493e-008
C2	-4.46566204e-012
C3	-1.36375356e-015
C4	3.64942050e-020
C5	-3.50695421e-023
C6	6.42482495e-027
C7	-7.49653419e-031
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

Tabelle 12 (Fortsetzung)

FLÄCHE NR. 20	
K	0.0000
C1	-1.99816626e-008
C2	-6.60214059e-012
C3	1.10140693e-015
C4	-1.05954816e-019
C5	6.81490959e-024
C6	-2.72419422e-028
C7	4.97767443e-033
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 23	
K	0.0000
C1	1.74400115e-008
C2	-8.35191566e-014
C3	-6.72245819e-018
C4	-1.48911061e-022
C5	6.03163011e-027
C6	-7.22356694e-032
C7	-1.68350772e-036
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 25	
K	0.0000
C1	-6.26229360e-009
C2	-1.01689566e-013
C3	1.24265213e-018
C4	6.15676137e-023
C5	-1.81952531e-027
C6	7.05339612e-032
C7	-1.30796023e-036
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 27	
K	0.0000
C1	-3.11584500e-009
C2	4.54152967e-014
C3	5.48854826e-019
C4	-1.07217364e-023
C5	-4.93680366e-028
C6	4.40409387e-033
C7	1.80136796e-037
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 33	
K	0.0000
C1	2.03860365e-009
C2	-4.81770739e-013
C3	7.12906529e-018
C4	-9.89082418e-023
C5	5.97992904e-027
C6	-1.39296989e-031
C7	1.16280644e-036
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

FLÄCHE NR. 35	
K	0.0000
C1	1.36126851e-008
C2	-2.50085436e-013
C3	1.07338114e-018
C4	3.24701476e-021
C5	-1.00209509e-025
C6	-2.59101058e-031
C7	1.08664414e-034
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

Tabelle 12 (Fortsetzung)

FLÄCHE NR. 37	
K	0.0000
C1	8.99963419e-008
C2	6.04018944e-012
C3	-7.89329450e-017
C4	-2.13781701e-021
C5	6.69330154e-024
C6	-7.04221608e-028
C7	4.04933330e-032
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

Patentansprüche

1. Refraktives Projektionsobjektiv zur Abbildung einer in einer Objekebene des Projektionsobjektivs angeordneten Musters in eine Bildebene des Projektionsobjektivs mit Hilfe eines Immersionsmediums, welches zwischen einem letzten optischen Element des Projektionsobjektivs und der Bildebene angeordnet ist, mit:
einer auf die Bildebene folgenden ersten Linsengruppe (LG1) mit negativer Brechkraft;
einer auf die erste Linsengruppe folgende zweite Linsengruppe (LG2) mit positiver Brechkraft;
einer auf die zweite Linsengruppe folgende dritte Linsengruppe (LG3) mit negativer Brechkraft;
einer auf die dritte Linsengruppe folgende vierte Linsengruppe (LG4) mit positiver Brechkraft;
einer auf die vierte Linsengruppe folgende fünfte Linsengruppe (LG5) mit positiver Brechkraft; und
einer Systemblende (5), die in einem Übergangsbereich von der vierten Linsengruppe zur fünften Linsengruppe angeordnet ist, wobei die vierte Linsengruppe eine Eintrittsfläche (E) hat, die in der Nähe eines Wendepunktes einer Randstrahlhöhe zwischen der dritten Linsengruppe (LG3) und der vierten Linsengruppe (LG4) liegt und zwischen der Eintrittsfläche und der Systemblende (5) keine Negativlinse mit substantieller Brechkraft angeordnet ist.
2. Projektionsobjektiv nach Anspruch 1, bei dem zwischen der Eintrittsfläche (E) und der Systemblende (5) nur Positivlinsen angeordnet sind.
3. Projektionsobjektiv nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die fünfte Linsengruppe (LG5) ausschließlich Linsen mit positiver Brechkraft aufweist.

4. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem im Bereich der dritten Linsengruppe (LG3) ein Einschnürungsort (X) mit minimalem Strahldurchmesser existiert und zwischen diesem Einschnürungsort und der Bildebene (3) nur an einer Stelle ein Linsenpaar (20, 21, 120, 121, 220, 221, 320, 321) mit unmittelbar aufeinander folgenden Linsen mit $\phi_i \cdot \phi_{i+1} < 0$ existiert, wobei ϕ_i und ϕ_{i+1} die Brechkräfte der Linsen des Linsenpaares sind und $|\phi_i| > 0,12 \text{ m}^{-1}$ ist.
5. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem zwischen der Objektebene und der Bildebene nur an drei Stellen Linsenpaare mit unmittelbar aufeinander folgenden Linsen mit $\phi_i \cdot \phi_{i+1} < 0$ existiert, wobei ϕ_i und ϕ_{i+1} die Brechkräfte der Linsen des Linsenpaares sind, und vorzugsweise $|\phi_i| > 0,12 \text{ m}^{-1}$ ist.
6. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die erste Linsengruppe (LG1) mindestens eine asphärische Fläche enthält, wobei vorzugsweise in der ersten Linsengruppe mindestens zwei asphärische Flächen vorgesehen sind.
7. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die erste Linsengruppe (LG1) mindestens zwei Linsen mit jeweils einer asphärischen Fläche enthält.
8. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem in einem ersten Linsenbereich (LB1), in dem die Hauptstrahlhöhe groß gegen die Randstrahlhöhe ist, mindestens eine asphärische Fläche angeordnet ist, die eine Krümmung hat, welche in einem optisch nutzbaren Bereich maximal einen Wendepunkt hat, wobei vorzugsweise zwei solcher Flächen vorgesehen sind.

9. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem in dem ersten Linsenbereich (LB1) nicht mehr als drei asphärische Flächen mit einem oder mehreren Wendepunkten angeordnet sind.
10. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die asphärischen Flächen eines ersten Linsenbereiches (LB1) die Bedingung $|\Sigma C1_i| \cdot 10^6 > 0,22$ erfüllen, wobei $C1_i$ der Koeffizient des Gliedes h^4 der asphärischen Flächendarstellung der i-ten Fläche ist.
11. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem mehrere asphärische Flächen mit einem optisch nutzbaren Durchmesser von mehr als 20% einer Baulänge des Projektionsobjektives konkav sind, wobei vorzugsweise alle asphärischen Flächen mit einem optisch nutzbaren Durchmesser von mehr als 20% einer Baulänge des Projektionsobjektives konkav sind.
12. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem in einem zweiten Linsenbereich (LB2), der sich zwischen der Objektebene (2) und einem Bereich erstreckt, in dem eine Hauptstrahlhöhe im wesentlichen einer Randstrahlhöhe entspricht, mindestens zwei asphärische Flächen angeordnet sind, deren asphärische Beiträge zur Verzeichnung entgegengesetzte Vorzeichen haben.
13. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem in der dritten Linsengruppe (LG3) mindestens eine asphärische Fläche vorgesehen ist, wobei vorzugsweise zwei asphärische Flächen vorgesehen sind.

14. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem in jeder Linsengruppe mindestens eine asphärische Fläche angeordnet ist.
15. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem mindestens zwei asphärische Flächen gegenüber einer zugeordneten Hüllsphäre eine Deformation von mehr als 1,2 mm haben.
16. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem für die sphärische Pupillenabberation PSA die Bedingung $0,9 \cdot PSA_{31} < PSA_3 < 1,1 \cdot PSA_{31}$ erfüllt ist, wobei PSA_{31} die Summe der Flächenteilkoeffizienten der sphärischen Pupillenabberation aller Flächen innerhalb eines ersten Linsenbereiches (LB1) und PSA_3 die Summe der Flächenteilkoeffizienten der sphärischen Pupillenabberation aller Flächen des Systems ist.
17. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das einen Objekt-Bildabstand L und eine Brennweite f' hat und an ein Immersionsmedium mit einer Brechzahl n_i angepasst ist, wobei folgende Bedingung erfüllt ist: $L / f' \cdot n_i > 2,5$.
18. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Systemblende (5) einen den Blendendurchmesser bestimmenden Blendenrand hat, dessen axiale Position in Bezug auf die optische Achse des Projektionsobjektivs als Funktion des Blendendurchmessers veränderbar ist.
19. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Systemblende als Kugelblende oder als Kegelblende ausgebildet ist.

20. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Systemblende axial verschiebbar ist.
21. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem in einem Übergangsbereich von der dritten Linsengruppe (LG3) zur vierten Linsengruppe (LG4) mindestens ein Linsendoublett (20, 21, 120, 121, 220, 221, 320, 321) vorgesehen, das eine Negativlinse schwacher Brechkraft und eine in Durchstrahlungsrichtung unmittelbar folgende Positivlinse umfasst, wobei die Negativlinse eine bildseitige Konkavfläche und die nachfolgende Positivlinse eine objektseitige Konkavfläche hat.
22. Projektionsobjektiv nach Anspruch 21, bei dem die Positivlinse (21, 121, 221, 321) eine zur Objektebene konkave Positiv-Meniskuslinse mit einem eintrittsseitigen Linsenradius $R1$ und einem austrittsseitigen Linsenradius $R2$ ist, die folgende Bedingung erfüllt: $(R1 + R2)/(R1 - R2) < -1,5$.
23. Projektionsobjektiv nach einem der Ansprüche 21 oder 22, bei dem einander zugewandte Konkavflächen des Linsendoubletts asphärisch sind.
24. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem in der vierten Linsengruppe (LG4) mindestens eine zur Objektebene konkave Meniskuslinse (124, 324', 424) angeordnet, die die Bedingung $D_L/D_{\min} > 1,3$ erfüllt, wobei D_{\min} der kleinste Lichtbüscheldurchmesser in der vierten Linsengruppe und D_L der maximale Lichtbüscheldurchmesser in der Meniskuslinse ist.
25. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem alle Linsen aus dem gleichen Material bestehen, wobei vorzugsweise als Linsenmaterial für 193nm Arbeitswellenlänge

synthetisches Quarzglas und/oder als Linsenmaterial für 157nm Wellenlänge Kalziumfluorid verwendet wird.

26. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine überwiegende Anzahl von Linsen aus synthetischem Quarzglas besteht, wobei mindestens zwei der in unmittelbarer Nähe der Bildebene angeordneten Linsenelemente aus einem Fluoridkristallmaterial mit gleicher Kristallorientierung bestehen.
27. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine überwiegende Anzahl von Linsen aus synthetischem Quarzglas besteht, wobei in der zweiten Linsengruppe (LG2) mindestens eine Positivlinse aus einem Fluoridkristallmaterial vorgesehen ist.
28. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine überwiegende Anzahl von Linsen aus synthetischem Quarzglas besteht, wobei in der vierten Linsengruppe mindestens eine Positivlinse aus Fluoridkristallmaterial vorgesehen ist.
29. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine überwiegende Anzahl von Linsen aus synthetischem Quarzglas besteht, wobei mindestens eine Negativlinse der dritten Linsengruppe aus Fluoridkristallmaterial besteht.
30. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das eine bildseitige numerische Apertur $NA \geq 0,98$ hat, wobei die bildseitige numerische Apertur vorzugsweise mindestens $NA = 1,0$ oder mindestens $NA = 1,1$ beträgt.
31. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Projektionsobjektiv an ein Immersionsmedium (10) an-

gepasst ist, welches bei einer Arbeitswellenlänge einen Brechungsindex $n > 1,3$ hat.

32. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Projektionsobjektiv einen bildseitigen Arbeitsabstand von mindestens einem Millimeter hat, wobei der bildseitige Arbeitsabstand vorzugsweise zwischen ca. 1 mm und ca. 15 mm, insbesondere zwischen ca. 1,5 mm und ca. 10 mm liegt.
33. Projektionsobjektiv, insbesondere nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Projektionsobjektiv einen objektseitigen Arbeitsabstand hat, der kleiner als 20 mm, insbesondere kleiner als 10 mm ist.
34. Projektionsobjektiv, insbesondere nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Projektionsobjektiv einen objektseitigen Arbeitsabstand hat, der kleiner als 50%, insbesondere kleiner als 25% des Objektfelddurchmessers ist.
35. Projektionsobjektiv, insbesondere nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Projektionsobjektiv einen objektseitigen Arbeitsabstand hat, der zwischen ca. 5mm und ca. 25 % des Objektfelddurchmessers liegt.
36. Projektionsobjektiv nach mindestens einem der Ansprüche 33 bis 35, wobei das Projektionsobjektiv einen bildseitige numerische Apertur $NA > 0,8$ hat.
37. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die zweite Linsengruppe (LG2) mindestens vier, vorzugsweise mindestens fünf aufeinander folgende Linsen mit positiver Brechkraft aufweist.

38. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die zweite Linsengruppe (LG2) auf einer der Objektebene (2) zugewandten Eintrittsseite mindestens eine, vorzugsweise mehrere zur Objektebene konkave Meniskuslinsen mit positiver Brechkraft aufweist und/oder wobei die zweite Linsengruppe an der der Bildebene zugewandten Austrittsseite mindestens eine, vorzugsweise mehrere zur Objektebene konvexe Meniskuslinsen mit positiver Brechkraft aufweist.
39. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die zweite Linsengruppe (LG2) in dieser Reihenfolge mindestens eine zur Objektebene konkave Meniskuslinse mit positiver Brechkraft, eine bikonvexe Positivlinse und mindestens eine zur Bildebene konkave Meniskuslinse mit positiver Brechkraft aufweist.
40. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die dritte Linsengruppe (LG3) nur Linsen mit negativer Brechkraft aufweist.
41. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die vierte Linsengruppe (LG4) in einem objektseitigen Eintrittsbereich mindestens eine zur Objektebene (2) konkave Meniskuslinse mit positiver Brechkraft aufweist, wobei vorzugsweise aufeinanderfolgend mehrere derartige Meniskuslinsen vorgesehen sind.
42. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die fünfte Linsengruppe (LG5) mindestens eine Meniskuslinse mit positiver Brechkraft und bildwärts konkaven Linsenflächen aufweist.

43. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die fünfte Linsengruppe (LG5) als letztes optisches Element eine Plankonvexlinse aufweist, die vorzugsweise eine sphärische oder asphärisch gekrümmte Eintrittsfläche und eine im wesentlichen ebene Austrittsfläche hat.
44. Projektionsobjektiv nach Anspruch 43, bei dem die Plankonvexlinse nicht-hemisphärisch ausgebildet ist.
45. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei es sich um ein Ein-Taillen-System mit einem objektnahen Bauch (6), einem bildnahen Bauch (8) und einer dazwischenliegenden Taille (7) handelt.
46. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine maximale Randstrahlhöhe mindestens doppelt so groß ist wie die Randstrahlhöhe am Ort (X) der engsten Einschnürrung.
47. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem ein objektnaher Bauch (6) einen ersten Bauchdurchmesser und ein bildnaher Bauch (8) einen zweiten Bauchdurchmesser hat und bei dem ein Bauchdurchmesserverhältnis zwischen dem zweiten und dem ersten Bauchdurchmesser mehr als 1,1 beträgt, insbesondere mehr als 1,2.
48. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem auf die fünfte Linsengruppe unmittelbar die Bildebene folgt, so dass das Projektionsobjektiv ausser der ersten bis fünften Linsengruppe keine weitere Linse oder Linsengruppe hat.

49. Projektionsbelichtungsanlage für die Mikrolithographie, gekennzeichnet durch ein refraktives Projektionsobjektiv gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche.
50. Verfahren zur Herstellung von Halbleiterbauelementen und anderen fein strukturierten Bauteilen mit folgenden Schritten:
Bereitstellung einer Maske mit einem vorgegebenen Muster;
Beleuchtung der Maske mit Ultraviolettlicht einer vorgegebenen Wellenlänge;
Projektion eines Bildes des Musters auf ein im Bereich der Bildebene eines Projektionsobjektivs angeordnetes, lichtempfindliches Substrat mit Hilfe eines Projektionsobjektivs gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 44;
wobei bei der Projektion ein zwischen einer letzten optischen Fläche des Projektionsobjektives und dem Substrat angeordnetes Immersionsmedium durchstrahlt wird.

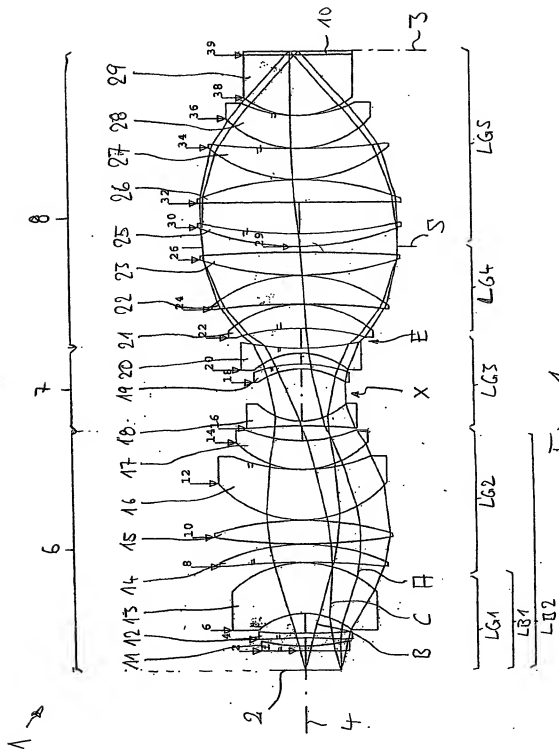


Fig. 1

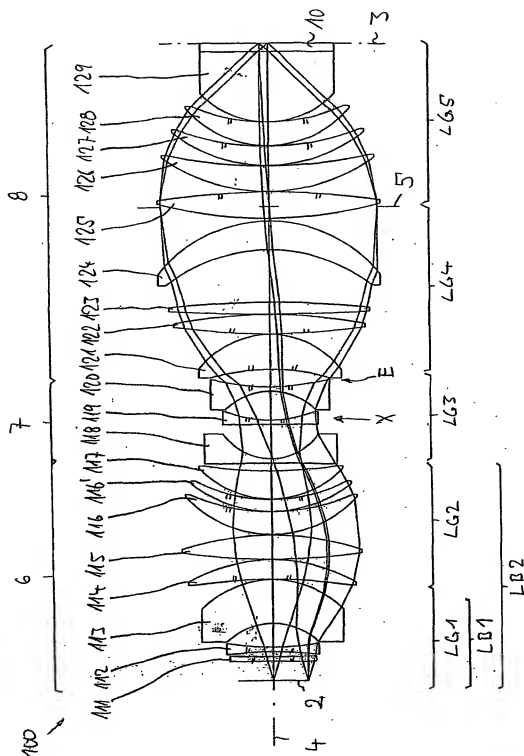
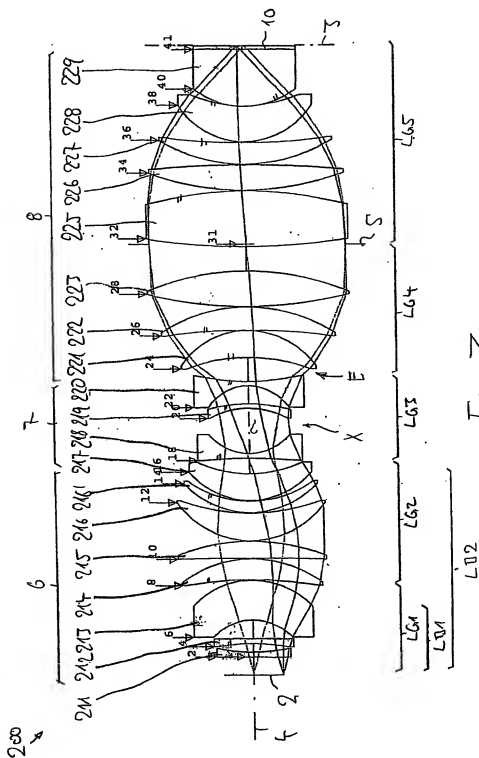


Fig. 2



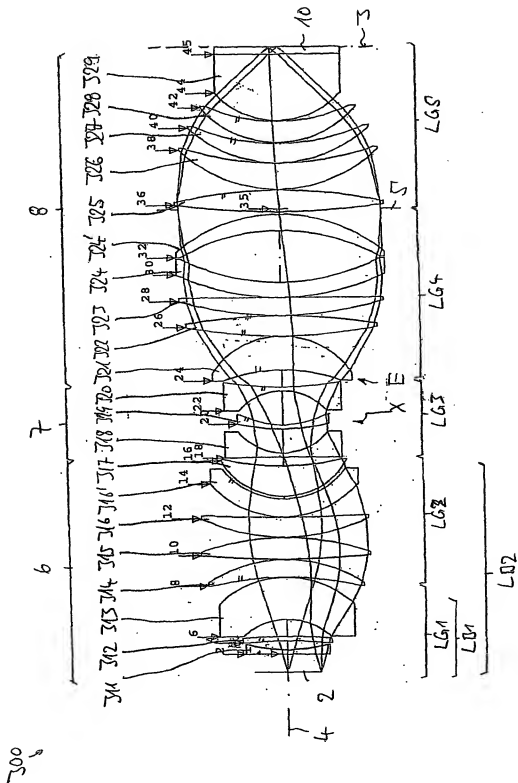


Fig. 4

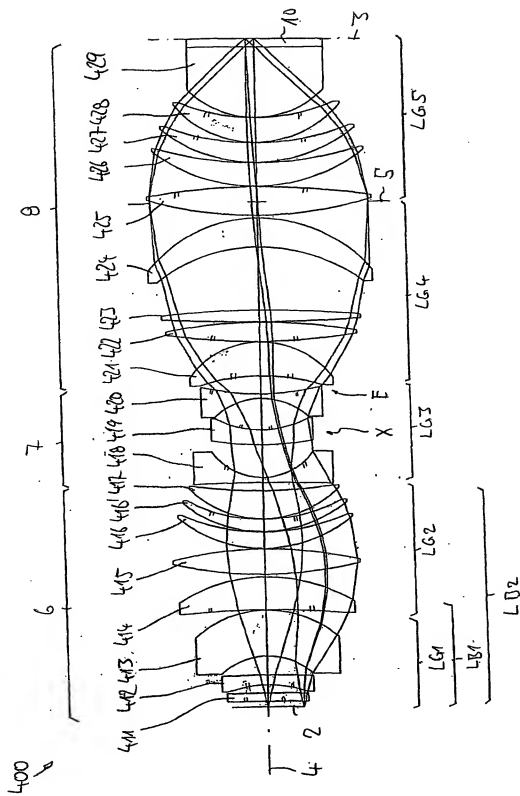


Fig. 5

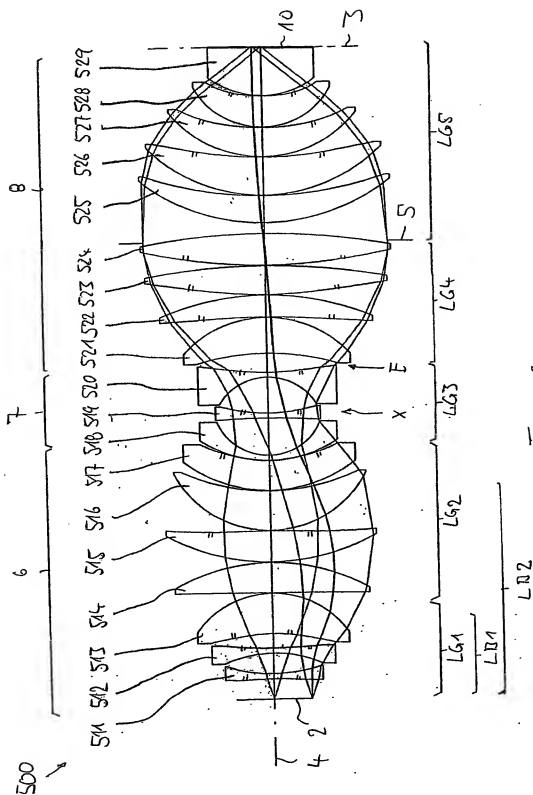


Fig. 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.
PCT/EP 03/11677

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G03F7/20 G02B13/14

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 G03F G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2003/030916 A1 (SUENAGA YUTAKA) 13 February 2003 (2003-02-13) paragraphs '0054! - '0058! paragraph '0073! table 1 figure 2	1-50
A	DE 102 10 899 A (CARL ZEISS SMT AG) 18 September 2003 (2003-09-18) paragraphs '0011!, '0013!, '0014!, '0017! paragraphs '0021! - '0024!, '0037! paragraphs '0042! - '0047! paragraphs '0054! - '0059! tables 1,2,4,5 figure 1	1-22,24, 25,30-50

-/-

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the International filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the International filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the International filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"G" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the International search

5 July 2004

Date of mailing of the International search report

13/07/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

von Hentig, R

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 03/11677

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	SMITH W J: "Modern Optical Engineering, stops and apertures" MODERN OPTICAL ENGINEERING, MC GRAW - HILL BOOK COMPANY, NEW YORK, NY, US, 2000, pages 141-143, XP002239380 pages 141-143	1-50
A	DE 101 11 299 A (ZEISS CARL) 12 September 2002 (2002-09-12) paragraphs '0002! - '0004!	18-20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 03/11677

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2003030916 A1	13-02-2003	JP 2002244035 A TW 512237 B US 2004021844 A1	28-08-2002 01-12-2002 05-02-2004
DE 10210899 A	18-09-2003	DE 10210899 A1 WO 03077036 A1 WO 03077037 A1 US 2003174408 A1	18-09-2003 18-09-2003 18-09-2003 18-09-2003
DE 10111299 A	12-09-2002	DE 10111299 A1	12-09-2002

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/11677

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 G03F7/20 G02B13/14

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 G03F G02B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2003/030916 A1 (SUENAGA YUTAKA) 13. Februar 2003 (2003-02-13) Absätze '0054! - '0058! Absatz '0073! Tabelle 1 Abbildung 2	1-50
A	DE 102 10 899 A (CARL ZEISS SMT AG) 18. September 2003 (2003-09-18) Absätze '0011!, '0013!, '0014!, '0017! Absätze '0021! - '0024!, '0037! Absätze '0042! - '0047! Absätze '0054! - '0059! Tabellen 1,2,4,5 Abbildung 1	1-22, 24, 25, 30-50

-/-

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst ein oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

5. Juli 2004

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

13/07/2004

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

von Hentig, R

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/11677

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	SMITH W J: "Modern Optical Engineering, stops and apertures" MODERN OPTICAL ENGINEERING, MC GRAW - HILL BOOK COMPANY, NEW YORK, NY, US, 2000, Seiten 141-143, XP002239380 Seiten 141-143	1-50
A	DE 101 11 299 A (ZEISS CARL) 12. September 2002 (2002-09-12) Absätze '0002! - '0004!	18-20

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/11677

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2003030916 A1	13-02-2003	JP 2002244035 A TW 512237 B US 2004021844 A1	28-08-2002 01-12-2002 05-02-2004
DE 10210899 A	18-09-2003	DE 10210899 A1 WO 03077036 A1 WO 03077037 A1 US 2003174408 A1	18-09-2003 18-09-2003 18-09-2003 18-09-2003
DE 10111299 A	12-09-2002	DE 10111299 A1	12-09-2002